

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 06 768 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
B 23 K 26/00

②1 Aktenzeichen: 195 06 768.1
②2 Anmeldetag: 27. 2. 95
④3 Offenlegungstag: 31. 8. 95

DE 195 06 768 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
28.02.94 JP 6-30262

⑦1 Anmelder:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

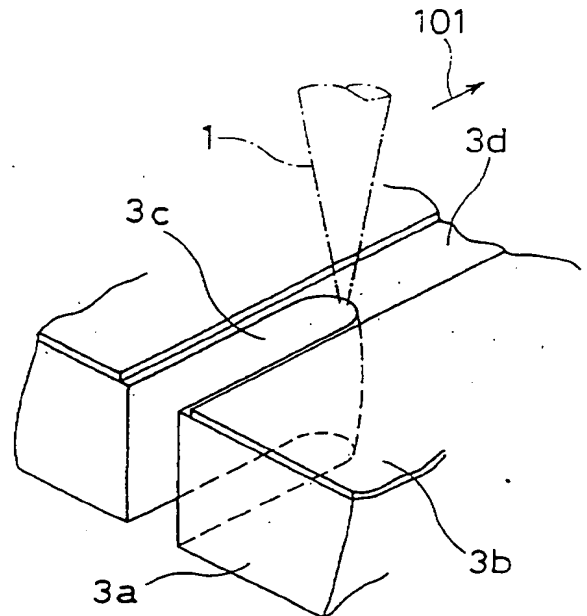
⑦4 Vertreter:
Hoffmann, Eitle & Partner Patent- und
Rechtsanwälte, 81925 München

⑦2 Erfinder:
Kanaoka, Masaru, Nagoya, Aichi, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Laserstrahlbearbeitungsverfahren und Laserstrahlmaschine

⑤7 Eine Laserstrahlbearbeitung (S1-S9; 101) wird ausgeführt, indem vorher der Laserstrahl (1) entlang einer Endbearbeitungskurve (101) für eine Hauptbearbeitung (S7, S8) unter einer derartigen Bedingung durchgeführt wird, daß eine Energiedichte zur Entfernung einer galvanisierten Schicht (3b) als eine Oberflächensubstanz eines Werkstücks (3a, 3b) erreicht wird. Danach wird der Laserstrahl (1) auf einen freiliegenden Bereich (3d) aufgestrahlt, von dem das Zink entfernt worden ist, während nur die Energiedichte entsprechend einer Schneidebedingung zum Schneiden des Werkstücks (3a, 3b) geändert wird.



DE 195 06 768 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 95 508 035/457

42/27

Diese Erfindung betrifft ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine darauf anwendbare Einrichtung, die ein Schneiden und Schweißen etc. eines aus Metall bestehenden Werkstücks unter Verwendung eines Laserstrahls ausführen und insbesondere auf ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine Einrichtung, die eine Bearbeitung unter tatsächlichen Bearbeitungsbedingungen nach Bearbeitung des Werkstücks unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen durchführen, um so einen Oberflächenzustand des Werkstücks zu verbessern.

Allgemein wird bei einer Laserstrahlbearbeitung eines Werkstücks, das aus einem Metall, beispielsweise Kohlenstoffstahl, einem rostfreien Stahl oder Aluminium besteht, ein Laserstrahl auf das Werkstück gestrahlt, während ein Hilfsgas darin eingespritzt wird. Bei einer Bearbeitung eines Werkstücks, dessen Oberfläche mit einer Substanz mit einem niedrigen Schmelzpunkt überzogen ist, tritt während der Bearbeitungsoperation möglicherweise eine verdampfende Substanz mit niedrigem Schmelzpunkt in eine Bearbeitungsfläche ein. In diesem Fall verschlechtert sich die Qualität des Werkstücks.

Die Fig. 21 bis 26 beziehen sich auf herkömmliche Schneide- und Schweißtechniken, die versuchen dieses Problem zu lösen und in den Fig. 22—25 zeigt ein Pfeil 101 eine Bearbeitungsrichtung oder Schneiderichtung durch den Laserstrahl 1.

Zur Behandlung des voranstehend erwähnten Nachteils verwendet ein in einer japanischen Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 4-333386 offenbarter Stand der Technik eine Art von Hilfsgas, wenn ein mit einer Substanz eines niedrigen Schmelzpunkts überzogenes Material durch den Laserstrahl bearbeitet wird, wie in Fig. 21 gezeigt. Dieser Stand der Technik zielt darauf ab, eine Verdampfung der Substanz mit niedrigem Schmelzpunkt zu begrenzen und die Qualität eines Werkstücks zu verbessern.

In Fig. 21 wird ein Laserstrahl 1 von einem (nicht dargestellten) Laseroszillator ausgestrahlt und durch eine Linse 2 auf ein Werkstück 3a oder eine galvanisierte Eisenplatte fokussiert. Die Oberfläche des Werkstücks 3a ist mit einer galvanisierten Schicht 3b überzogen. Ein Paar von Gasflaschen 4a und 4b enthalten darin Sauerstoff (O_2) bzw. Argon (Ar) und liefern die Gase an einen Mischer 6. Ein Bearbeitungskopf 7 weist an seinem führenden Ende eine Düse 8 auf, so daß er ermöglicht, daß ein gemischtes Gas aus Sauerstoff und Argon von der Düse 8 in Richtung auf einen Bearbeitungspunkt 9 auf dem Werkstück 3a ausgegeben wird.

Ein Betrieb der obigen Einrichtung wird nachstehend beschrieben.

Der aus dem Laseroszillator austretende Laserstrahl 1 wird durch einen (nicht dargestellten) Ablenkungsspiegel an den Bearbeitungskopf 7 geleitet. Dann wird der Laserstrahl 1 durch die Linse 2 fokussiert und von der Düse 8 auf den Bearbeitungspunkt 9 der galvanisierten Schicht 3b des Werkstücks 3a gestrahlt. Eine Energiedichte des Laserstrahls 1 an der galvanisierten Schicht 3b wird in Abhängigkeit von der Art, der Plattendicke oder der Bearbeitungsgeschwindigkeit des Werkstücks 3a verändert. Ferner wird Sauerstoffgas und Argongas von den Flaschen 4a und 4b zugeführt und in dem Mischer 6 gemischt. Das gemischte Gas wird unter die Sammellinse 2 in den Bearbeitungskopf 7 geführt und von der Düse 8 auf die galvanisierte Schicht 3b zusammen mit dem Laserstrahl 1 ausgespritzt. Das ge-

mischte Gas wird verwendet, um das Zink der galvanisierten Eisenschicht durch das darin enthaltene Oxidationsgas in ein Zinkoxid oder Zinkperoxid zu oxidieren. Infolgedessen verdampft das Zink nicht und ein Verspritzen wird verringert, wodurch eine Laserstrahlschweißung mit wenigen Gaseinschlüssen ermöglicht wird.

Eine in der japanischen Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 4-1388 88 offenbarte Technik teilt einen Laserstrahl in zwei Strahlen auf, so daß ein Strahl eine Substanz mit einem niedrigen Schmelzpunkt ablöst und der andere Strahl eine Schweißung durchführt, wie in Fig. 23 gezeigt.

In Fig. 23 weist die Einrichtung einen Laseroszillator 10 und einen teilweise reflektierenden Spiegel Mm und einen total reflektierenden Spiegel Ms auf.

Der den Laseroszillator 10 verlassende Laserstrahl wird durch den teilweise reflektierenden Spiegel Mm in zwei Strahlen aufgeteilt und einer der Strahlen läuft dort hindurch an das Werkstück 3a, um so eine Beschichtungssubstanz, beispielsweise eine galvanisierte Schicht 3b zu entfernen. Der andere Strahl wird durch den teilweise reflektierenden Spiegel Mm in Richtung auf den total reflektierenden Spiegel Ms reflektiert und ferner durch den total reflektierenden Spiegel Ms in Richtung auf das Werkstück 3a reflektiert, um es dadurch zu schweißen. Da die Einrichtung die Strahlen in einer Richtung 101 bewegt, führt sie gleichzeitig sowohl eine Entfernung der Beschichtungssubstanz des Werkstücks als auch einen Schweißvorgang durch.

Eine japanische Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. 63-112088 offenbart ein Schweißverfahren einer galvanisierten Eisenschicht, das einen Schritt zum Ablösen von Zink an einer Oberfläche eines Werkstücks, wie in Fig. 24 gezeigt und einen Schweißschritt, wie in Fig. 25 gezeigt, aufweist.

Wie in Fig. 24 gezeigt, wird der Bearbeitungskopf 7 zuerst an einer Position über einer normalen Bearbeitungsposition angeordnet, so daß eine Fokussierungsposition über der Oberfläche des Werkstücks 3a zu liegen kommt. Ferner wird eine Ausgangsleistung verkleinert und dann wird der Laserstrahl 1 auf die galvanisierte Schicht 3b gestrahlt und in die Richtung 101 entlang der Schicht 3b bewegt, um sie abzulösen, um eine nackte Oberfläche 3d des Werkstücks 3a für eine Nachbearbeitung vorzubereiten. Als nächstes wird die Fokussierungsposition, wie in Fig. 25 gezeigt, näher an der Oberfläche des Werkstücks 3a eingestellt und dann wird die Ausgangsleistung erhöht, um einen Schweißvorgang aufzuführen.

Jedoch wird bei der Laserstrahlbearbeitung aus Fig. 21, die das Mischgas als Hilfsgas verwendet, die Qualität des Schweißvorgangs geringer, wenn die Dicke der galvanisierten Schicht auf der Oberfläche des Werkstücks groß ist. Ferner wird als ein Hilfsgas bei einem Schneidevorgang allgemein ein Sauerstoffgas mit hoher Reinheit verwendet, so daß, wenn das Mischgas auch bei dem Schneidevorgang verwendet wird, eine Bearbeitungsmöglichkeit davon verringert wird. Deshalb besteht eine Notwendigkeit, ein Schweißverfahren einer galvanisierten Eisenschicht mit einer dicken galvanisierten Schicht bereitzustellen.

Fig. 26 ist eine Querschnittsansicht, die einen Schweißtropfen 3e beim Stumpfschweißen einer galvanisierten Eisenschicht mit einer Dicke von 200 μm der galvanisierten Schicht unter Verwendung eines Mischgases als ein Hilfsgas zeigt. In der Figur werden in dem Schweißtropfen 3e Gaseinschlüsse 3f erzeugt.

Fig. 22 zeigt eine Ursache einer Verschlechterung der Bearbeitungsqualität bei einem Laserstrahlschneidevorgang der galvanisierten Eisenschicht.

Unter Bezugnahme auf Fig. 22 wird beim Schneiden eines Werkstücks 3a umfassend eine galvanisierte Eisenschicht das Werkstück 3a mit einer Schneiderille 3c gebildet. Dämpfe 11, die vorwiegend Zink wegen seines niedrigen Schmelzpunkts umfassen, treten in die Schneiderille 3c ein.

Wie in Fig. 22 gezeigt, wird bei dem Laserschneidevorgang der galvanisierten Eisenschicht die galvanisierte Schicht 3b verdampft und der Zinkdampf 11 tritt in die Schneiderille 3c ein. Demzufolge wird die Reinheit des Sauerstoffgases in der Schneiderille 3c verringert, was große Splitter oder Sprünge auf einer Schneidefläche und Grus auf einer hinteren Oberfläche des Werkstücks 3a verursacht. Natürlich sollte der Laserschneidevorgang durchgeführt werden, während verhindert wird, daß der Zinkdampf 11 in die Schneiderille 3c eintritt.

Bei der Laserstrahlbearbeitung aus Fig. 23 wird das Werkstück 3a durch einen zweiten Laserstrahl geschweißt, nachdem die galvanisierte Schicht 3b durch einen ersten Laserstrahl abgelöst ist, so daß der Schweißvorgang als eine Hauptbearbeitung durchgeführt wird, bevor die zur Zeit einer Ablösung der Überzugsschicht 3b erzeugte Wärme sich abgekühlt hat. Wenn die Hauptbearbeitung durchgeführt wird, wenn das bearbeitete Teil noch erwärmt ist, wird die Wärme einwirkung so übermäßig, daß sich ein Zustand eines Selbstbrennens in dem Schneidevorgang ergibt und eine Struktur von verbundenen Teilen bei dem Schweißvorgang hypertrophiert und versprödet wird. Für den Fall, daß die positionsmäßige Beziehung des teilsweise reflektierenden Spiegels Mm und des total reflektierenden Spiegels Ms fest ist, ergibt sich ein Fall, daß Ortskurven des Laserstrahls bei dem Ablösevorgang als eine Vorbehandlung und die Hauptbearbeitung nicht miteinander übereinstimmen, wenn die Ortskurven kompliziert sind. Wenn eine Konstruktion angewendet wird, die bewirkt, daß die Ortskurven miteinander übereinstimmen, wird die Einrichtung selbst kompliziert, teuer und besitzt keine praktische Verwendbarkeit. Ferner ist die Einrichtung unter Verwendung des teilweise reflektierenden Spiegels Mm und des total reflektierenden Spiegels Ms nur auf eine lineare Bearbeitung anwendbar.

Da die Ausgangsleistung bei dem in den Fig. 24 und 25 gezeigten Stand der Technik verringert wird und sich der Brennpunkt als eine Bearbeitungsbedingung verschiebt, um galvanisiertes Zink in dem ersten Schritt zu veraschen und zu entfernen, nimmt die Bearbeitungsgeschwindigkeit ab. Obwohl er auf eine aus Zink bestehende Galvanisierung, die einen großen Absorptionsfaktor und einen niedrigen Schmelzpunkt aufweist, anwendbar ist, kann er nicht auf eine Substanz angewendet werden, die einen niedrigen Absorptionsfaktor und einen hohen Schmelzpunkt aufweist. Ferner kann er die Entfernung von Beschichtungsmaterialien mit unterschiedlichen Eigenschaften nicht flexibel behandeln. Ferner ist es erforderlich, genau die Ausgangsleistung und Geschwindigkeit zu wählen und die Energiedichte des Laserstrahls unter einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit zu steuern, und zwar in Abhängigkeit von der Art des Beschichtungsmaterials, um das Beschichtungsmaterial richtig zu veraschen und zu entfernen.

Zusätzlich weisen die meisten Weichstahlmaterialien einen auf ihren Oberflächen während eines Walzprozes-

ses bei ihrer Herstellung erzeugten Oxidfilm auf. Dieser Oxidfilm wird als Walzenschlacke oder Walzsinter bezeichnet. Bei einer Laserstrahlbearbeitung eines Weichstahlmaterials, das eine dicke Walzenschlackenschicht oder eine dicke und dünne marmorierte Schicht aufweist, wird eine Verteilung bewirkt. Wenn nämlich das Weichstahlmaterial mit einem Oxidfilm einer ungleichmäßigen Dicke geschnitten wird, existiert eine Veränderung des Absorptionsfaktors des Laserstrahls an der Oberfläche des Materials. Wenn der Absorptionsfaktor sich beträchtlich verändert, verschlechtert sich die Qualität des Schneidevorgangs. Auch wenn sich der Absorptionsfaktor bei einem Schweißvorgang ändert, ändert sich auch eine Eindringungstiefe, so daß eine stabile Bearbeitung unmöglich ist. Wenn der geschweißte Teil (Schweißtropfen) mit dem Oxidfilm der Werkstückoberfläche verunreinigt wird, wird eine Schweißstärke verringert.

Wenn ferner der Oxidfilm größer als eine bestimmte Dicke wird, werden durch die thermische Schockwirkung bei der Laserstrahlbearbeitung Sprünge diskontinuierlich erzeugt, so daß der Oxidfilm an einer Position des Laserstrahls existieren kann und an einer anderen Position nicht existieren kann. Wenn das Weichstahlmaterial mit dem Oxidfilm einer ungleichmäßigen Dicke geschnitten wird, existiert infolgedessen eine Veränderung des Absorptionsfaktors des Laserstrahls an der Oberfläche des Materials, wie voranstehend beschrieben. Wenn sich der Absorptionsfaktor verändert, verschlechtert sich die Qualität des Schneidevorgangs. Wenn sich der Absorptionsfaktor bei einem Schweißvorgang ändert, ändert sich auch eine Eindringungstiefe, so daß eine stabile Bearbeitung unmöglich wird.

Ferner wird auf dem Weichstahlmaterial Rost erzeugt, wenn es über lange Zeit in einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit zurückgelassen wird. Beim Laserschneiden des Teils des Materials, welches mit Rost bedeckt ist, ergibt sich eine anormale Verbrennung und die Bearbeitungsqualität verschlechtert sich. Auch beim Laserstrahlschweißen des verrosteten Teils werden Gaseinschlüsse in dem Schweißtropfen erzeugt. Wenn nämlich die Werkstückoberfläche verrostet ist, existiert eine Veränderung des Absorptionsfaktors des Laserstrahls zwischen verrosteten Teilen und einem nicht verrosteten Teil. Wenn sich der Absorptionsfaktor verändert, wirkt sich dies auf die Qualität des Schneidevorgangs aus. Wenn sich der Absorptionsfaktor beim Schweißen verändert, variiert auch die Breite oder Tiefe einer Eindringung, so daß eine stabile Bearbeitung unmöglich ist.

Je größer die Werkstückoberflächenunregelmäßigkeit oder Oberflächenrauigkeit ist, desto mehr Defekte werden in der Bearbeitungsqualität in dem Laserschneidevorgang erzeugt.

Je größer die Oberflächenrauigkeit ist, desto größer wird eine Veränderung, die in dem Absorptionsfaktor des Laserstrahls verursacht wird. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit ist an einem Teil höher, der eine große Oberflächenrauigkeit und einen großen Absorptionsfaktor aufweist, während die Bearbeitungsgeschwindigkeit an einem Teil geringer ist, der eine kleine Oberflächenrauigkeit und einen kleinen Absorptionsfaktor aufweist, so daß die Bearbeitungsqualität nicht gleichmäßig ist. Außer für den Fall, daß die Werkstückoberfläche senkrecht zu der Strahlungsrichtung des Laserstrahls ist, wird der Fluß des Hilfsgases in der Schneiderille gestört, wodurch ein fehlerhafter Schneidevorgang bewirkt wird.

Ferner wird bei dem Laserstrahlschweißen eines Materials mit hohem Reflexionsvermögen der Laserstrahl bei der Bearbeitung reflektiert, so daß ein stabiler Bearbeitungsvorgang nicht möglich ist.

Angesichts der vorangehenden Ausführungen ist es eine Aufgabe der Erfindung,

- ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine darauf anwendbare Einrichtung vorzusehen, die unter Verwendung eines Laserstrahls eine Werkstückoberfläche durch eine vorläufige Bearbeitung bei einer vorläufigen Bearbeitungsbedingung vorbereiten und eine Hauptbearbeitung bei einer Hauptbearbeitungsbedingung ausführen, um so das Werkstück in geeigneter Weise zu bearbeiten.

Eine andere Aufgabe der Erfindung besteht darin,

- ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine darauf anwendbare Einrichtung bereitzustellen, die eine Entfernungsgeschwindigkeit von Oberflächensubstanzen eines Werkstücks, die eine Vielfalt von zueinander unterschiedlichen Eigenschaften aufweisen und die eine Hauptbearbeitung behindern können, vergrößern können.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin,

- ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine darauf anwendbare Einrichtung vorzusehen, die in einfacher Weise eine Schneidequalität oder Schweißqualität ohne irgendeine Änderung oder einen komplizierteren Aufbau einer Laserstrahlmaschine selbst verbessern können.

Eine noch weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin,

- ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine darauf anwendbare Einrichtung vorzusehen, die eine Schneidequalität oder eine Schweißqualität ohne die Notwendigkeit einer Änderung einer Laserstrahlmaschine selbst verbessern können.

Gemäß der Lehre einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren die folgenden Schritte: einen vorläufigen Bearbeitungsschritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve.

Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt die Schritte zum Sammeln eines Laserstrahls in eine hohe Energiedichte unter Verwendung eines fokussierenden optischen Systems und das Aufstrahlen des Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine zu einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterschiedliche Energiedichte zu erhalten, um so vorher Material auf der Oberfläche des Werkstücks zu entfernen. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, von dem das Oberflächenmaterial entfernt worden ist, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung gemäß der Erfindung umfaßt: eine vorläufige Bearbeitungseinrich-

tung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zur Fokussierung eines Laserstrahls in eine hohe Energiedichte und eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines führenden Endes eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so vorher ein Oberflächenmaterial des Werkstücks zu entfernen. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, von dem das Oberflächenmaterial entfernt worden ist, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren die folgenden Schritte: Einen vorläufigen Bearbeitungsschritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt die Schritte einer Fokussierung eines Laserstrahls in eine hohe Energiedichte und des Aufstrahlens eines führenden Endes eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so eine Oberflächenrauigkeit des Werkstücks gleichförmig zu machen. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, auf dem die Oberflächenrauigkeit gleichförmig gemacht worden ist, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zur Fokussierung eines Laserstrahls in eine hohe Energiedichte und eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines führenden Endes eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so eine Oberflächenrauigkeit des Werkstücks gleichförmig zu machen. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, auf dem die Oberflächenrauigkeit gleichförmig gemacht worden ist, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren einen vorläufigen Bearbeitungs-

schritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt die Schritte des Aufstrahlens eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so das Werkstück mit einer Aussparung zu versehen. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf das ausgesparte Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so das Werkstück mit einer Aussparung zu versehen. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf das ausgesparte Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren einen vorläufigen Bearbeitungsschritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt des Aufstrahlens eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so das Werkstück mit einer Aussparung zu versehen. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt die Schritte des Aufstrahlens des Laserstrahls auf das ausgesparte Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt zum Neigen einer Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls und einer Ausspritzrichtung eines Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt ferner einen Schritt, um die Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls und die Aufspritzrichtung des Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks einzustellen.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des

Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so das Werkstück mit einer Aussparung zu versehen. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf das ausgesparte Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Neigen einer Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls und einer Ausspritzrichtung eines Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt ferner eine Einrichtung, um die Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls und die Ausspritzrichtung des Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks einzustellen.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren einen vorläufigen Bearbeitungsschritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt die Schritte des Aufstrahlens eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer vorläufigen Bearbeitungsbedingung eines Hilfsgases, welches ein Sauerstoffgas zur Oxidation einer Oberfläche des Werkstücks enthält, die sich von einer Hauptbearbeitungsbedingung zum Schweißen des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so die Oberfläche des Werkstücks zu oxidieren.

Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein oxidiertes Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungskurve, und zwar unter einer vorläufigen Bearbeitungsbedingung eines Hilfsgases, welches ein Sauerstoffgas zur Oxidierung der Oberfläche des Werkstücks enthält, die sich von einer Hauptbearbeitungsbedingung zum Schweißen des Hauptbearbeitungsschritts unterscheidet, um so die Oberfläche des Werkstücks zu oxidieren. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein oxidiertes Gebiet des Werkstücks, während die Energiedichte des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren einen vorläufigen Bearbeitungsschritt zur Vorbehandlung eines Werkstücks und einen Hauptbearbeitungsschritt zur Bearbeitung des Werk-

stücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve. Der vorläufige Bearbeitungsschritt umfaßt die Schritte eines Aufstrahlens eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung zur gleichmäßigen Erzielung einer Energiedichte und einer Energieverteilung unterschiedlich von einer Energiedichte und einer Energieverteilung in wenigstens einer der Hauptbearbeitungsbedingungen zum Schneiden und Schweißen und zur thermischen Behandlung des Hauptbearbeitungsschritts, um so vorher eine Oberflächensubstanz des Werkstücks zu entfernen. Der Hauptbearbeitungsschritt umfaßt einen Schritt des Aufstrahlens des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, auf dem die Oberflächensubstanz entfernt worden ist, während die Energiedichte und die Energieverteilung des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Gemäß einer noch anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt eine Laserstrahlbearbeitungseinrichtung eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung zur Vorbehandlung eines Werkstücks und eine Hauptbearbeitungseinrichtung zur Bearbeitung des Werkstücks entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve. Die vorläufige Bearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls entlang der letzten Bearbeitungsortskurve, und zwar unter einer derartigen vorläufigen Bearbeitungsbedingung zur gleichmäßigen Erzielung einer Energiedichte und einer Energieverteilung unterschiedlich von einer Energiedichte und einer Energieverteilung in wenigstens einer der Hauptbearbeitungsbedingungen zum Schneiden und Schweißen und zur thermischen Behandlung des Hauptbearbeitungsschritts, um so vorher eine Oberflächensubstanz des Werkstücks zu entfernen. Die Hauptbearbeitungseinrichtung umfaßt eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet des Werkstücks, von dem die Oberflächensubstanz entfernt worden ist, während die Energiedichte und die Energieverteilung des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um so das Werkstück zu bearbeiten.

Weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen, in denen bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung deutlich gezeigt sind.

In den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht, die einen Laserstrahlschneidezustand nach der Entfernung einer galvanisierten Schicht auf einer Oberfläche eines Werkstücks mit einer galvanisierten Eisenschicht zeigt, nämlich unter Verwendung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 2 ein Erklärungsdiagramm, welches einen Zusammenhang zwischen einem Galvanisierungsbetrag M in der galvanisierten Eisenschicht und einer zur Entfernung einer galvanisierten Schicht an einem bestrahlten Teil erforderliche Energiedichte E eines Laserstrahls zeigt, nämlich entsprechend der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 3 ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang zwischen der Art von Beschichtungsmaterial mit einer Beschichtungs Menge ($M = 20 \text{ g/m}^2$) und einer für deren Entfernung erforderliche Energiedichte E eines Laserstrahls zeigt, nämlich entsprechend der ersten

Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 4 ein Flußdiagramm, welches einen Bearbeitungsprozeß der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung zeigt;

Fig. 5 eine schematische Ansicht, die einen Gesamtaufbau eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Laserstrahlbearbeitungseinrichtung zeigt, die für das Verfahren gemäß der ersten bis achten Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden;

Fig. 6 ein Erklärungsdiagramm, das den prozentualen Anteil von Defekten in einer Schneideoberfläche zu einem Galvanisierungsbetrag zeigt, während ein Wert in der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung mit einem Wert eines Standes der Technik, bei dem keine Beschichtung entfernt wurde, verglichen wird;

Fig. 7 eine Querschnittsansicht, die einen Schweißtropfen zeigt, der bei einem Schweißvorgang nach Entfernung einer galvanisierten Schicht unter Verwendung einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung erhalten wird;

Fig. 8 ein Erklärungsdiagramm, das einen Graph einer Gaseinschluß-Belegungsrate zu einer Galvanisierungsmenge als ein Parameter zeigt, während Werte für die zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung mit Werten eines Standes der Technik, bei dem keine Beschichtung entfernt wurde, verglichen werden;

Fig. 9 eine Querschnittsansicht, die ein geschnittenes Werkstück zeigt, das darauf einen nicht gleichförmigen Oxidfilm aufweist, der durch eine dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung behandelt werden soll;

Fig. 10 ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang einer Dicke eines Oxidfilms und einer Schneideoberflächenrauigkeit R_{max} nach einer Bearbeitung zeigt, während Werte für die dritte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung mit Werten eines Standes der Technik, bei dem keine Beschichtung entfernt wurde, verglichen wird;

Fig. 11(a) ein Erklärungsdiagramm, das eine Theorie eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung in einem verwandten Stand der Technik für einen Fall des Schneidens eines geeigneten Werkstücks zeigt;

Fig. 11(b) ein Erklärungsdiagramm, das eine Theorie einer vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung für einen Fall des Schneidens eines geeigneten Werkstücks zeigt;

Fig. 12 ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang zwischen einem Neigungswinkel relativ zu einer horizontalen Richtung und einem prozentualen Anteil von Defekten zeigt, während ein Wert in der vierten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung mit einem Wert in einem Stand der Technik, bei dem keine Ausparung bereitgestellt wird, verglichen wird;

Fig. 13 ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang einer Bearbeitungsgeschwindigkeit und einer Eindringungstiefe beim Schweißen zeigt, nachdem eine Oberfläche eines Materials unter einer Bedingung oxidiert ist, die vorher entweder reinen Sauerstoff oder ein sauerstoffhaltendes Mischgas verwendet, während

ein Wert in einer fünften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung mit einem Stand der Technik, der keine Vorbehandlung aufweist, verglichen wird;

Fig. 14 ein Erklärungsdiagramm, das einen Aussparungszustand beim Aufstrahlen eines Laserstrahls und Ausspritzen eines Hilfsgases vertikal auf eine Oberfläche eines Werkstücks in einem verwandten Stand der Technik zeigt;

Fig. 15 ein Erklärungsdiagramm, das eine Ausnahme zeigt, die durch eine geneigte Düse in einer sechsten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitung und der Einrichtung hergestellt wird;

Fig. 16 ein Erklärungsdiagramm, welches einen Bearbeitungszustand zeigt, bei dem eine Aussparung vorher auf einem Werkstück entlang einer Schneideortskurve gebildet wird und bei dem das Werkstück danach geschnitten wird, beim Schneiden einer dicken Platte unter Verwendung der sechsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 17 ein Erklärungsdiagramm, welches einen Zusammenhang zwischen einer Aussparungstiefe t und einem prozentualen Anteil von Defekten zeigt, beim Schneiden von Weichstahlmaterialien mit unterschiedlichen Dicken T unter Verwendung der sechsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 18 ein Erklärungsdiagramm, welches einen Bearbeitungszustand bei einem Schneidevorgang zeigt, bei dem eine Schneideortskurve eines Werkstücks geschmolzen wird, um die Rauigkeit der geschnittenen Oberfläche neu zu gestalten und das Werkstück danach geschnitten wird, beim Schneiden des Werkstücks, dessen Oberfläche mit geringer Genauigkeit durch eine mechanische Bearbeitung oder dergleichen bearbeitet wurde, unter Verwendung einer sechsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung;

Fig. 19 ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang einer Werkstückoberflächenrauigkeit R_{max} und einem prozentualen Anteil von Defekten beim Schneiden von Weichstahlmaterialien mit unterschiedlichen Dicken T in der siebten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung zeigt;

Fig. 20(a) und 20(b) Erklärungsdiagramme, die jeweils einen Zusammenhang eines Laserstrahlmoden und eines Laserstrahlzustands gemäß einer achten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung zeigen;

Fig. 21 eine perspektivische Ansicht, die ein Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine Einrichtung des Standes der Technik zeigt;

Fig. 22 eine perspektivische Ansicht, die einen Schneidevorgang eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung des Standes der Technik zeigt;

Fig. 23 eine schematische Ansicht, die ein anderes herkömmliches Laserstrahlbearbeitungsverfahren und eine Einrichtung zeigen;

Fig. 24 eine perspektivische Ansicht, die einen Schweißvorgang als eine vorläufige Bearbeitung in einem Laserstrahlbearbeitungsverfahren und einer Einrichtung eines Standes der Technik zeigt;

Fig. 25 eine perspektivische Ansicht, die eine Hauptbearbeitung bei einem Laserstrahlbearbeitungsverfahren und einer Einrichtung eines Standes der Technik

zeigt; und

Fig. 26 eine Querschnittsansicht, die eine fehlerhafte Schweißung bei einem Laserstrahlbearbeitungsverfahren und einer Einrichtung eines Standes der Technik zeigt.

Unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Teile überall in den verschiedenen Ansichten zeigen, werden bevorzugte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung nachstehend beschrieben. Gleiche Bezugszeichen werden auch zur Bezeichnung der gleichen Teile verwendet, auf die in der Beschreibung des Standes der Technik Bezug genommen werden, um dadurch überflüssige Erklärungen zu vermeiden.

Erste Ausführungsform

Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Laserstrahl beim Schneiden zeigt, nachdem eine galvanisierte Schicht auf einer Oberfläche einer galvanisierten Eisenschicht unter Verwendung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer erfindungsgemäßen Einrichtung entfernt wurde.

In Fig. 1 wird der Laserstrahl 1 durch eine Einrichtung erzeugt, die einen Laserstrahloszillator, ein optisches System mit einer Linse und dergleichen (nicht gezeigt) umfaßt und der Laserstrahl 1 wird auf die Oberfläche eines Werkstücks 3a, z. B. eine galvanisierte Eisenschicht gestrahlt. Das erfindungsgemäße Verfahren und die Einrichtung wird auf eine Vielfalt von Bearbeitungsvorgängen angewendet, einschließlich des Schneidens, Schweißens etc., obwohl Fig. 1 einen Schneidevorgang zeigt. In Fig. 1 ist eine galvanisierte Schicht 3b des Werkstücks 3a durch den Laserstrahl 1 entfernt und eine nackte Oberfläche 3d ist freigelegt und wird mit einer Schneideaussparung 3c geschnitten.

Die erfindungsgemäße Laserstrahlbearbeitungseinrichtung weist Verbesserungen hinsichtlich ihrer in einem Mikroprozessor (nicht dargestellt) verwirklichten Software auf und eine ausführliche Beschreibung ihres mechanischen Aufbaus erübrigt sich. Die erfindungsgemäße Software ergibt sich aus der folgenden Beschreibung und aus einem Flußdiagramm aus Fig. 4.

Nachstehend wird das Laserstrahlbearbeitungsverfahren beschrieben. In einem vorläufigen Bearbeitungsschritt wird, als eine erste Stufe, der Laserstrahl 1 in einen Strahl mit hoher Energiedichte fokussiert, der auf eine letzte Bearbeitungsortskurve aufgestrahlt wird, die die gleiche wie die Hauptbearbeitungsortskurve ist, wodurch vorher die galvanisierte Schicht auf der Oberfläche entfernt und eine nackte Oberfläche 3d des Werkstücks 3a vorbereitet wird. Der vorläufige Schritt wird unter einer vorläufigen Bearbeitungsbedingung ausgeführt, um eine Energiedichte zu erhalten, die sich von einer Energiedichte in einer Hauptbearbeitungsbedingung für einen Schneidevorgang unterscheidet. In einem Hauptbearbeitungsschritt wird der Laserstrahl 1, als eine zweite Stufe, auf die nackte Oberfläche 3d des Werkstücks 3a, um es zu schneiden, in einer Energiedichte aufgestrahlt, die entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung für den Laserstrahlschneidevorgang geändert ist.

In der ersten Stufe einer Bearbeitung wird insbesondere die vorläufige Bearbeitungsbedingung zur Entfernung der galvanisierten Schicht 3b auf der Oberfläche

des Werkstücks 3a vorbestimmt, wodurch es unter Verwendung eines Bearbeitungsprogramms unter einer Bedingung bearbeitet wird, so daß der Laserstrahl 1 veranlaßt wird, eine gewünschte Kontur eines letztlich bearbeiteten Produkts zu verfolgen. In der zweiten Stufe einer Bearbeitung wird der Laserstrahl 1 an eine anfängliche Bearbeitungsposition des Bearbeitungsprogramms zurückgeführt. Dann wird eine vorbestimmte Hauptbearbeitungsbedingung eingestellt, wodurch das Werkstück 3a entlang einer Länge der nackten Oberfläche 3d geschnitten wird, die die gleiche Ortskurve wie die Schneideortskurve ist. Bei dem Schneidevorgang wird kein Zinkdampf oder Zinkrauch erzeugt, so daß eine Reinheit eines Sauerstoffgases als ein Hilfsgas hoch gehalten wird und die Bearbeitungsqualität verbessert ist.

Fig. 2 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang zwischen einem Galvanisierungsbetrag M [g/m²] in der galvanisierten Eisenschicht und einer zur Entfernung der galvanisierten Schicht 3b an einem aufgestrahlten Teil erforderliche Energiedichte E [J/cm²] des Laserstrahls 1 zeigt.

Die Energiedichte E wird durch die folgende Gleichung (1) ausgedrückt, die einen Zusammenhang einer Laserausgangsleistung P [W], einer Bearbeitungsgeschwindigkeit V [cm/s] und einer Bearbeitungsbreite L [cm] zeigt.

$$E = P/(V \times L) \quad \dots(1).$$

Ein mit schraffierten Linien bezeichnetes Gebiet in Fig. 2 zeigt eine Energiedichte E , die das Zink perfekt entfernen kann. Vorzugsweise wird hinsichtlich des Bearbeitungswirkungsgrades die vorläufige Bearbeitungsbedingung so eingestellt, daß eine niedrigste Energiedichte, vorausgesetzt sie kann das Zink entfernen, mit einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit entsprechend dem Galvanisierungsbetrag M erzielt wird. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 wird eine durch die folgende Gleichung (2) gezeigte Beziehung zwischen jedem Galvanisierungsbetrag M und der niedrigsten Energiedichte E gebildet.

$$E = 74 \times \ln M + 130 \quad \dots(2).$$

Fig. 3 ist ein Erklärungsdiagramm, welches einen Zusammenhang zwischen einem metallischen Beschichtungsmaterial mit einem Beschichtungsbetrag ($M = 20\text{g/m}^2$) und einer zur Entfernung des Metalls erforderlichen Energiedichte E [J/cm²] des Laserstrahls 1 zeigt.

Die vorläufige Bearbeitungsbedingung wird vorzugsweise so eingestellt, daß eine durch schraffierte Linien in Fig. 3 angezeigte Energiedichte E mit einer höchsten Bearbeitungsgeschwindigkeit entsprechend einem Absorptionsfaktor des Laserstrahls 1 und einem Schmelzpunkt für jedes Beschichtungsmaterial erzielt wird. Nach einem experimentellen Ergebnis kann das Beschichtungsmaterial mit einer niedrigeren Energiedichte E in der Reihenfolge einer Zink-Aluminium-Legierung, einer Zink-Nickel-Legierung, einer Eisen-Zink-Legierung und von Zink entfernt werden.

Beziehungen der folgenden Gleichungen (3) bis (6) werden zwischen dem Beschichtungsbetrag dieser Beschichtungsmaterialien und der zur ihrer Entfernung erforderlichen Energiedichte E gebildet, wobei die Energiedichte für die Zink-Aluminium-Legierung mit E_a , die Energiedichte für die Zink-Nickel-Legierung mit E_n , die Energiedichte für die Eisen-Zink-Legierung mit E_f und

die Energiedichte für das Zink mit E bezeichnet ist.

$$E_a = 80 \times \ln M + 260 \quad \dots(3)$$

$$E_n = 78 \times \ln M + 241 \quad \dots(4)$$

$$E_f = 76 \times \ln M + 222 \quad \dots(5)$$

$$E = 74 \times \ln M + 130 \quad \dots(6).$$

Die Energiedichte zur Entfernung der Beschichtungsmaterialien wird in einem Speicher des Mikroprozessors, der die erfindungsgemäße Laserstrahlbearbeitungseinrichtung bildet, in der Form der voranstehenden Gleichungen (3) bis (6) in Abhängigkeit von der Beschichtungsmenge und einer Eigenschaft des Beschichtungsmaterials gespeichert. Ferner kann die Ausgangsleistung aus der Gleichung (1) entsprechend einer erforderlichen Bearbeitungsbreite und einer Bearbeitungsgeschwindigkeit auf eine gewünschte Ausgangsleistung eingestellt werden. Fig. 4 ist ein Flußdiagramm, das einen Bearbeitungsprozeß dieser Ausführungsform zeigt. Das Flußdiagramm spricht für sich selbst und im Schritt S1 werden durch einen Benutzer Parameter eingegeben und im Schritt S3 wird der geeignete Ausgang auf Grundlage von mit einer Datenbasis im Schritt S2 ausgetauschten Daten berechnet. Eine vorläufige Bearbeitungsbedingung wird im Schritt S4 eingestellt und Beschichtungsmaterial wird im Schritt S5 entfernt. Nach einer Entfernung wird der Strahl an einen Startpunkt im Schritt S6 zurückgeführt, die Hauptbearbeitungsbedingung wird im Schritt S7 eingestellt und die Hauptbearbeitung beginnt im Schritt S8 und endet am Schritt S9. Dieser Prozeß kann durch eine Vielzahl von codierten Befehlen in dem Bearbeitungsprogramm automatisch ausgeführt werden.

Fig. 5 ist eine schematische Ansicht, die einen Gesamtaufbau eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Laserstrahlbearbeitungseinrichtung zeigt, die für das Verfahren gemäß der ersten bis achten Ausführungsformen der Erfindung verwendet wird.

Eine Laserstrahlmaschine 100 in der Figur besteht grundlegend aus einem Laseroszillator 10, in den ein (nicht dargestellter) Resonator eingebaut ist, einer Energieversorgungsstufe 11, einer Kühleinheit 12, einem Bearbeitungskopf 7 und einer Steuereinheit 20, die aus einer wohl bekannten CPU, einem ROM, einem RAM und dergleichen gebildet ist, während sie eine Datenbank 21 für einen Beschichtungsmaterial-Entfernungsteil aufweist. Ein Laserstrahl 1 wird von dem Laseroszillator 10 ausgestrahlt und über einen Ablenkungsspiegel Mb an den Bearbeitungskopf 7 geleitet. Der an den Bearbeitungskopf 7 geleitete Laserstrahl wird durch eine Linse 2 fokussiert, die in den Kopf 7 eingebaut ist. Der fokussierte Laserstrahl 1 wird von einer Düse 8, die sich an einem führenden Ende des Kopfs befindet, auf eine Oberfläche eines Werkstücks 3a gestrahlt, das auf einem Bearbeitungstisch befestigt ist.

Dabei wird eine Energiedichte des Laserstrahls 1 in dem Teil 20a der Steuereinheit 20 zur Berechnung eines geeigneten Ausgangs unter Verwendung der Datenbank 21 für den Beschichtungsmaterial-Entfernungsteil berechnet und an den Bearbeitungsbedingungs-Einstellteil 20b ausgegeben, wie in Fig. 5 gezeigt, und zwar auf Grundlage von Daten wie beispielsweise einer Bearbeitungsbreite, einer Bearbeitungsgeschwindigkeit, einer Art eines Beschichtungsmaterials einer Beschichtung und entsprechend einem in Fig. 4 gezeigten Betriebsprozeß. Ausgangsdaten von dem Bearbeitungsbedingungs-Einstellteil 20b werden durch den Bearbeitungsbefehlsausgangsteil 20f ausgegeben. Ausgangsdaten

von dem Startbefehlsteil 20c zur Entfernung von Beschichtungsmaterial und dem Rückführungsbefehlsteil 20d werden durch den Bearbeitungsbefehlsausgangsteil 20f ausgegeben. Eine Hauptbearbeitungsbedingung nach Entfernung des Beschichtungsmaterials wird in dem Hauptbearbeitungsbedingungs-Einstellteil 20e eingestellt und durch den Bearbeitungsbefehlsausgangsteil 20f ausgegeben. Eine Bearbeitungsbedingung oder ein Betrieb des Laseroszillators 10 oder des Bearbeitungstisches 5 wird auf Grundlage der Ausgangsdaten von dem Bearbeitungsbefehls-Ausgangsteil 20f gesteuert.

Fig. 6 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen prozentualen Anteil von Defekten [%] einer Schneideoberfläche zu einer Galvanisierungsmenge [g/m^2] zeigt, während der Wert der vorliegenden Ausführungsform mit demjenigen eines verwandten Standes der Technik verglichen wird. Hierbei werden Daten als "herkömmlich" bezeichnet, die durch Schneiden eines 16 mm dicken Weichstahlmaterials mit einer darauf zurückgelassenen Galvanisierungsschicht erhalten werden und Daten werden mit "bevorzugte Ausführungsform der Erfindung" oder mit "vorliegende Ausführungsform" bezeichnet, die durch Schneiden des 16 mm dicken Weichstahlmaterials erhalten werden, von dem die Galvanisierungsschicht entfernt wurde.

Für den Bearbeitungsvorgang einer Entfernung der Beschichtung in der Ausführungsform wurde eine Bedingung aus der Gleichung (2) so gewählt, daß eine Bearbeitungsbreite von 5 mm und eine Geschwindigkeit von 2000 mm/min möglich waren. Für alle Schneidvorgänge der Ausführungsform und im herkömmlichen Stand der Technik wurden Bedingungen eingestellt, so daß sie eine Ausgangsleistung von 2200 W und eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 800 mm/min aufweisen, während Sauerstoff (O_2) als ein Hilfsgas verwendet wurde und sein Gasdruck auf $0,6 \text{ kg}/\text{cm}^2$ eingestellt war.

Bei den herkömmlichen Verfahren stieg der Anteil von Defekten im wesentlichen proportional zu dem Galvanisierungsbetrag (der Dicke der galvanisierten Schicht) an. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Anteil von Defekten ungefähr 2% zu jeder Galvanisierungsmenge.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Erfindung ist die Qualität des geschnittenen Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Während die vorliegende Ausführungsform unter Bezugnahme auf eine galvanisierte Beschichtung beschrieben wird, ist die Erfindung auf irgendwelche Beschichtungsmaterialien anwendbar und die gleichen vorteilhaften Wirkungen werden erzielt, wenn sie einen niedrigeren Schmelzpunkt als der eines Basismetalls aufweist.

Zweite Ausführungsform

Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht, die einen Schmelztropfen zeigt, der bei einem Schweißvorgang nach Entfernung einer galvanisierten Schicht unter Verwendung einer zweiten Ausführungsform des Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung der Erfindung erhalten wird. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine dieser Ausführungsform ist der gleiche wie in der ersten Ausführungsform aus Fig. 5 und seine Beschreibung erübrigt sich.

Die zweite Ausführungsform betrifft eine Laserstrahlschweißung, während die erste Ausführungsform sich auf ein Laserstrahlstrahlschneiden bezieht. Eine ähnliche Einrichtung wie die der ersten Ausführungsform wird zur Ausführung des Verfahrens dieser Aus-

führungsform verwendet, obwohl ein Bearbeitungsprogramm für einen gewünschten Schweißvorgang in geeigneter Weise geändert wird.

Die zweite Ausführungsform besitzt einen vorläufigen Bearbeitungsschritt als eine erste Stufe und der vorläufige Bearbeitungsschritt ist der gleiche wie derjenige der ersten Ausführungsform und seine ausführliche Beschreibung wird zur Vermeidung von Überflüssigkeiten weggelassen. Dann wird in einem Hauptbearbeitungsschritt als eine zweite Stufe der Laserstrahl 1 auf eine nackte Oberfläche des Werkstücks 3a gestrahlt, die durch Entfernung der galvanisierten Schicht 3b in dem vorläufigen Bearbeitungsschritt erhalten wird und ein Tropfen 3e wird in dem Werkstück 3a bereitgestellt, um es zu schweißen. Dabei wird eine Energiedichte gemäß der Hauptbearbeitungsbedingung für das Laserstrahlschweißen geändert.

In der vorliegenden Ausführungsform wird SECC mit einer Plattendicke von 2 mm und eine Galvanisierungsmenge von $50 \text{ g}/\text{m}^2$ für ein Werkstück 3a gewählt. Für den Arbeitsvorgang einer Entfernung der Beschichtung wird aus der Gleichung (2) eine Bedingung so gewählt, daß eine Bearbeitungsbreite von 5 mm und eine Geschwindigkeit von 2000 mm/min möglich sind. Für den Schweißvorgang wird eine Bearbeitungsbedingung eingestellt, so daß sie eine Ausgangsleistung von 1200 W und eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 2500 mm/min umfaßt, während Argon (Ar) als ein Hilfsgas verwendet wird und seine Gasflußrate auf 20 l/min eingestellt ist.

In der vorliegenden Ausführungsform werden keine Gaseinschlüsse in dem Schweißtropfen 3e erzeugt.

Fig. 8 ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Gaseinschlußbelegungsrate [%] zu einer Galvanisierungsmenge [g/m^2] als ein Parameter zeigt. Fig. 8 zeigt Ergebnisse, die bei der Durchführung eines Schweißvorgangs mit einem Tropfen auf einer 3 mm dicken galvanisierten Eisenschicht als eine Platte durch den Laserstrahl 1 mit einer Ausgangsleistung von 1800 W und einer Geschwindigkeit von 1500 mm/min erhalten werden. Die Gaseinschlußbelegungsrate ist ein Verhältnis einer Querschnittsfläche von Gaseinschlußblöchern zu einer Querschnittsfläche des Tropfens 3e. Die Daten, die bei dem Schweißen des Werkstücks von über der galvanisierten Schicht erhalten werden, werden als "Stand der Technik" bezeichnet und Daten, die beim Schweißen des Werkstücks nach der Entfernung der galvanisierten Schicht erhalten werden, werden als "bevorzugte Vorgehensweise der Erfindung" oder "die vorliegende Ausführungsform" bezeichnet. Für den Arbeitsvorgang einer Entfernung der Beschichtung in der Ausführungsform wurde eine Bedingung aus der Gleichung (2) so gewählt, daß eine Bearbeitungsbreite von 5 mm und eine Geschwindigkeit von 2000 mm/min möglich waren.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist die Qualität des geschweißten Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Ferner nimmt bei dem Schweißvorgang nach einer Entfernung der galvanisierten Schicht 3b in der vorliegenden Ausführungsform die Erzeugung von Gaseinschlüssen zu einem großen Ausmaß ab und eine gute Schweißung wird sichergestellt. Während die vorliegende Ausführungsform in Bezug auf eine galvanisierte Beschichtung beschrieben wird, ist die Erfindung wie in der ersten Ausführungsform auf irgendwelche Beschichtungsmaterialien anwendbar und die gleichen vorteilhaften Wirkungen werden erzielt, solange sie einen

niedrigeren Schmelzpunkt als der eines Basismaterials aufweist.

Auch in der vorliegenden Ausführungsform wird eine Energiedichte zur Entfernung der Beschichtungsmaterialien in einem Speicher des Mikroprozessors, der die erfindungsgemäße Laserstrahlbearbeitungseinrichtung bildet, in der Form der voranstehenden Gleichungen (3) bis (6) entsprechend der Beschichtungs- und einer Eigenschaft des Beschichtungsmaterials gespeichert. Ferner kann die Ausgangsleistung aus der Gleichung (1) entsprechend einer erforderlichen Bearbeitungsbreite und einer Bearbeitungsgeschwindigkeit auf eine gewünschte Ausgangsleistung eingestellt werden. Fig. 4 ist ein Flußdiagramm, welches auf den Bearbeitungsprozeß dieser Ausführungsform anwendbar ist. Dieser Prozeß kann durch eine Vielzahl von codierten Befehlen in dem Bearbeitungsprogramm automatisch ausgeführt werden.

Dritte Ausführungsform

Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht, die ein geschnittenes Werkstück zeigt, das einen als Walzsinter oder Grus bezeichneten ungleichförmigen Oxidfilm darauf aufweist, der durch eine dritte Ausführungsform des Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung der Erfindung behandelt werden soll. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine in dieser Ausführungsform ist der gleiche wie bei der ersten Ausführungsform, die in der schematischen Ansicht aus Fig. 5 gezeigt ist und eine Beschreibung dieses Aufbaus erübrigt sich.

Die dritte Ausführungsform betrifft einen Laserstrahlschneidevorgang wie die erste Ausführungsform, während sie ein Werkstück 3a mit einem Oxidfilm 3g oder dem Walzsinter behandelt, der beim Walzen auf seiner Oberfläche gebildet wird. Eine ähnliche Einrichtung wie die der ersten Ausführungsform wird zur Ausführung auch des Verfahrens dieser Ausführungsform verwendet, obwohl ein Bearbeitungsprogramm für einen gewünschten Walzsinter-Entfernungsbearbeitungsvorgang in geeigneter Weise verändert wird.

Die dritte Ausführungsform verwendet einen vorläufigen oder anfänglichen Bearbeitungsschritt als eine erste Stufe zur Behandlung des Walzsinters, obwohl der vorläufige Bearbeitungsschritt ähnlich wie der der ersten Ausführungsform ist, außer daß er den Walzsinter behandelt. Der Oxidfilm 3g wird nämlich in dem vorläufigen Schritt für den folgenden Hauptschritt entfernt, in der gleichen Weise wie die galvanisierte Schicht in der ersten Ausführungsform entfernt wird. Dann wird in einem Hauptbearbeitungsschritt als eine zweite Stufe der Laserstrahl 1 auf eine saubere Oberfläche des Werkstücks 3a gestrahlt, die durch Entfernung des Walzsinters in dem vorläufigen Bearbeitungsschritt erhalten wird, um es zu schneiden. Der Hauptbearbeitungsschritt ist der gleiche wie derjenige der ersten Ausführungsform und eine ausführliche Beschreibung davon wird zur Vermeidung von Überflüssigkeiten weggelassen.

Unter Bezugnahme auf Fig. 9 weist eine Dicke des Oxidfilms 3g auf dem Werkstück 3a einen Einfluß auf einen Absorptionsfaktor des Laserstrahls 1 auf. Selbst wenn die Dicke des Oxidfilms 1 ungleichmäßig ist, ist es allgemein unmöglich, das Werkstück 3a zu bearbeiten, während eine derartige Verteilung der Dicke erkannt und eine Bearbeitungsbedingung dementsprechend gesteuert wird. Selbst in einem derartigen Fall wird nämlich der Schneide- oder Schweißvorgang unter der glei-

chen Bearbeitungsbedingung durchgeführt, so daß die Qualität des bearbeiteten Werkstücks entsprechend dem Absorptionsfaktor des Laserstrahls 1 ungleichförmig ist. Selbst im Fall einer Bearbeitung eines Werkstücks, das einen darauf gebildeten dicken gleichmäßigen Oxidfilm aufweist, wird der Oxidfilm häufig bei der Bearbeitung abgelöst, so daß die Qualität des bearbeiteten Werkstücks ungleichmäßig und verschlechtert wird. Ferner ergibt sich auch bei der Bearbeitung eines Werkstücks mit darauf gebildetem Rost eine Ungleichförmigkeit des bearbeiteten Werkstücks.

Fig. 10 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang einer Dicke eines Oxidfilms [μm] und einer Schneideoberflächenrauigkeit R_{max} [μm] nach einer Bearbeitung in Bezug auf ein 12 mm dickes Weichstahlmaterial (SS400) zeigt. Hier werden Daten, die beim Schneiden des Werkstücks ohne eine Entfernung des Oxidfilms erhalten werden, als "Stand der Technik" bezeichnet und Daten, die beim Schneiden des Werkstücks nach einer Entfernung des Oxidfilms erhalten werden, werden als "bevorzugte Vorgehensweise der Erfindung" oder "die vorliegende Ausführungsform" bezeichnet. Eine Bearbeitungsbedingung wurde eingestellt, so daß eine Ausgangsleistung von 1500 W und eine Schneidgeschwindigkeit von 1000 mm/min aufweist und das Werkstück wurde unter der gleichen Bedingung im Stand der Technik und der vorliegenden Ausführungsform geschnitten.

Je dicker der Oxidfilm ist, desto größer ist allgemein der Absorptionsfaktor des Laserstrahls und desto rauer wird die Schneideoberfläche. Allerdings weist die vorliegende Ausführungsform vorteilhafte Ergebnisse darin auf, daß der Absorptionsfaktor des Laserstrahls 1 gleichmäßig ist und die Qualität der Schneideoberfläche immer gut und zufriedenstellend ist.

Vierte Ausführungsform

Fig. 11(b) ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Theorie einer vierten Ausführungsform eines Laserbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung der Erfindung beim Schneiden eines geeigneten Werkstücks zeigt. Fig. 11(a) ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Theorie eines herkömmlichen Laserbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung beim Schneiden eines geeigneten Werkstücks zeigt. In Fig. 11(a) zeigen die Pfeile einen Gasfluß, wenn ein Hilfsgas von einer Düse 8 auf ein Werkstück 3a mit einer darauf gebildeten Schneiderille oder Schneideaussparung 3h gespritzt wird. In Fig. 11(b) zeigen die Pfeile den Gasfluß, wenn ein Hilfsgas von einer Düse 8 auf ein Werkstück ohne eine darauf gebildete Schneiderille gespritzt wird. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine in dieser Ausführungsform ist der gleiche wie bei der ersten Ausführungsform, die in der schematischen Ansicht aus Fig. 5 gezeigt ist und eine Beschreibung davon erübrigt sich.

Die vierte Ausführungsform betrifft einen Laserstrahlschneidevorgang wie bei der ersten Ausführungsform, während sie ein Werkstück 3a zur Bildung einer Schneiderille vorbehandelt. Eine ähnliche Einrichtung wie die der ersten Ausführungsform wird zur Ausführung des Verfahrens dieser Ausführungsform verwendet, obwohl ein Bearbeitungsprogramm für einen gewünschten Schneiderillen-Herstellungsbearbeitungsvorgang und einen Nachschneide-Bearbeitungsvorgang in geeigneter Weise geändert wird.

Die vierte Ausführungsform verwendet einen anfänglichen oder vorläufigen Bearbeitungsschritt als eine er-

ste Stufe zur Vorbehandlung des Werkstücks 3a zur Bildung der Schneiderille 3h anstelle eines Entfernungsbearbeitungsvorgangs der galvanisierten Schicht entlang einer vorgegebenen Ortskurve in der ersten Ausführungsform. Es wird nämlich die Schneiderille 3a vorher in dem anfänglichen Schritt für den folgenden Hauptschritt gebildet. Dann wird in dem Hauptbearbeitungsschritt als eine zweite Stufe der Laserstrahl 1 auf die Schneiderille des Werkstücks a gestrahlt, um es zu schneiden, während ein Hilfsgas ebenfalls auf die Schneiderille injiziert wird.

Wie voranstehend erwähnt, ist die vierte Ausführungsform zur Behandlung des geneigten Werkstücks 3a zur Verbesserung seines Schneidevorgangs vorgesehen. Insbesondere ist bei dem Stand der Technik der Fig. 11(a) die Richtung des Gasflusses fest und entlang der Ebene des geneigten Werkstücks 3a geneigt, so daß kein Moment erwartet werden kann, um einen geschmolzenen Teil 3k herunterzudrücken, der durch die Ausstrahlung des Laserstrahls 1 geschmolzen wird. Da in dieser Ausführungsform aus Fig. 11(b) im Gegensatz dazu das Schneiden durchgeführt wird, nachdem eine Schneiderille 3h auf der Oberfläche des Werkstücks 3a gebildet worden ist, dient die Schneiderille 3h als eine Düse zur Orientierung des Flusses des Hilfsgases und weist die Funktion auf, den geschmolzenen Teil 3k des Werkstücks 3a herunterzudrücken, um dadurch die Schneidefähigkeit beträchtlich zu verbessern.

Fig. 12 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang eines Neigungswinkels θ [Grad] relativ zu einer horizontalen Richtung und einen prozentualen Anteil von Defekten [%] beim Schneiden eines 12 mm dicken Weichstahlmaterials (SS400) zeigt. Hierbei werden Daten, die beim Schneiden des Werkstücks ohne die Schneiderille 3h ermittelt werden als "Stand der Technik" bezeichnet und Daten, die beim Schneiden des Werkstücks nach der Bildung der Schneiderille 3h erhalten werden, werden als "bevorzugte Vorgehensweise der Erfindung" oder "die vorliegende Erfindung" bezeichnet. Eine Schneidebedingung war auf eine Ausgangsleistung von 1500 W und eine Schneidegeschwindigkeit von 1000 mm/min eingestellt und das Werkstück wurde unter der gleichen Bedingung beim Stand der Technik und der vorliegenden Ausführungsform geschnitten.

Je größer der Neigungswinkel ist, desto unterschiedlicher ist der Anteil von Defekten in der vorliegenden Ausführungsform und dem Stand der Technik. Insbesondere verbessert die vorliegende Erfindung den Anteil von Defekten bei einer Bearbeitung des geneigten Werkstücks 3a auf ein großes Ausmaß.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform wird die Qualität des geschnittenen Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Während die vorliegende Ausführungsform den Bearbeitungsvorgang während einer Neigung des Werkstücks 3a zeigt, können die gleichen vorteilhaften Wirkungen im Fall einer Neigung der Laserstrahlrichtung relativ zu der Werkstückoberfläche erzielt werden.

Fünfte Ausführungsform

In einer fünften Ausführungsform wird in einem vorläufigen oder anfänglichen Bearbeitungsschritt als eine erste Stufe der Laserstrahl 1 in eine hohe Energiedichte fokussiert und auf eine letzte Bearbeitungsartskurve (oder Endbearbeitungskurve) gesteuert, die die gleiche

wie eine Hauptbearbeitungsartskurve ist, um dadurch die Oberfläche des Werkstücks 3a vorher zu oxidieren. Der anfängliche Schritt wird unter einer vorläufigen Bearbeitungsbedingung eines sauerstoffgasenthaltenden Hilfsgases zur Oxidation der Oberfläche des Werkstücks 3a durchgeführt, die sich von einer Hauptbearbeitungsbedingung für einen Scheidevorgang unterscheidet. Bei einem Hauptbearbeitungsschritt als eine zweite Stufe wird der Laserstrahl auf die vorbehandelte Oberfläche des Werkstücks 3a, um es zu schneiden, mit einer Energiedichte gestrahlt, die entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung für den Laserstrahlschneidevorgang geändert ist.

Fig. 13 ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Beziehung einer Bearbeitungsgeschwindigkeit [m/min] und einer Eindringungstiefe [mm] beim Schweißen einer Aluminiumlegierung (A5052) zeigt, während eine fünfte Ausführungsform eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung der Erfindung mit dem Stand der Technik verglichen wird. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine in dieser Ausführungsform ist der gleiche wie bei der in der schematischen Ansicht aus Fig. 5 gezeigten ersten Ausführungsform und eine Beschreibung davon erübrigt sich. Die fünfte Ausführungsform führt das Schweißen nach einer vorherigen Oxidation einer Oberfläche der Legierung unter Verwendung von Sauerstoff oder einem sauerstoffhaltendem Mischgas durch, während der Stand der Technik keine derartige Vorbehandlung aufweist. Für den Oxidationsvorgang wird eine Bearbeitungsbedingung so eingestellt, daß sie eine Ausgangsleistung von 2000 W und eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 3000 mm/min aufweist, während Sauerstoff (O_2) als ein Hilfsgas verwendet und sein Gasdruck auf 2 kg/cm² eingestellt ist. Für den Schweißvorgang wird eine Bearbeitungsbedingung auf eine Ausgangsleistung von 4000 W eingestellt, während Argon (Ar) als ein Hilfsgas verwendet wird und die Gasflußrate davon auf 20 l/min eingestellt wird. Wenn die Oberfläche der Aluminiumlegierung nicht oxidiert ist, ist der Absorptionsfaktor des Laserstrahls 1 nicht mehr als 5%. Bei einer Oxidierung wird der Absorptionsfaktor zweimal oder dreimal so groß. Dies bedeutet, daß eine Schweißfähigkeit um ein großes Ausmaß ansteigt, indem die Oberfläche des Werkstücks in der vorliegenden Ausführungsform oxidiert wird.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist die Qualität des geschweißten Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Während die vorliegende Ausführungsform die Aluminiumlegierung behandelt, ist sie auch auf irgendwelche anderen Materialien mit einem hohen Reflexionsvermögen, z. B. Aluminium, Kupfer, eine Kupferlegierung etc. anwendbar und kann die Qualität verbessern.

Sechste Ausführungsform

Fig. 15 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Rillen- oder Aussparungsherstellungsvorgang durch eine geneigte Düse in einer sechsten Ausführungsform des Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und der Einrichtung der Erfindung zeigt. Fig. 14 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Rillenzustand zeigt, wenn der Laserstrahl 1 aufgestrahlt und ein Hilfsgas vertikal auf eine Oberfläche eines Werkstücks 3a bei einer Doppelschneidetechnik des Standes der Technik eingespritzt wird. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine in dieser Ausführungsform ist der gleiche wie bei der in der schemati-

schen Ansicht aus Fig. 5 gezeigten ersten Ausführungsform und eine Beschreibung davon erübrigt sich.

Beim Laserschneiden wird ein geschmolzener Teil 3k durch die Laserstrahlauflagestrahlung und die Einspritzung des Hilfsgases nach oben geblasen, so daß das geschmolzene Metall an der Düse 8 anhaftet. Infolgedessen wird der Fluß des Hilfsgases gestört und eine fehlerhafte Bearbeitung wird verursacht. Deshalb wird bei der Laserstrahlbearbeitung des Standes der Technik das geschmolzene Metall von einem unteren Teil des Werkstücks ausgeworfen, um dadurch eine stabile Bearbeitung fortzusetzen.

Im Gegensatz dazu ist in der vorliegenden Ausführungsform und wie in Fig. 15 gezeigt, die Düse 8 zu dem Werkstück 3a geneigt, um so das heraufgeblasene Metall in eine Richtung zu spritzen, so daß es nicht an der Düse 8 anhaftet. Während in der vorliegenden Ausführungsform die Düse 8 relativ zu dem Laserstrahl 1 geneigt ist, so daß der geschmolzene Teil 3k nicht an der Düse 8 beim Ausspritzen des geschmolzenen Teils 3k während der Durchführung des Rillenbildungsvorgangs anhaftet, kann ein Aufbau verwendet werden, bei dem eine zweite Düse an der Seite der Düse 8 vorgesehen ist, um Gas auf die Düse 8 zu blasen, um den geschmolzenen Teil 3k wegzublasen und auszuwerfen.

Fig. 16 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Bearbeitungszustand zeigt, in dem eine Aussparung oder Rille vorher auf einem Werkstück entlang einer Schneideortskurve gebildet ist und das Werkstück danach geschnitten wird, beim Schneiden einer dicken Platte unter Verwendung der vorliegenden Ausführungsform eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung.

In diesem Fall ist eine Plattendicke des Werkstücks 3a T und eine Rillentiefe ist t, so daß eine tatsächliche Schneidedicke (T - t) ist, wodurch ein stabiler Schneidevorgang erleichtert wird.

In Fig. 16 zeigt das Bezugszeichen 3i eine durch einen Laser vor einem Schneiden des Werkstücks 3a hergestellte Aussparung oder Rille. Bei der Bearbeitung der Rille 3i ist es erforderlich, die Rillenbildungsvorgänge in einem kurzen Abstand zu wiederholen, um die gesamte Aussparung 3f vorzubereiten, oder den Bearbeitungsgasdruck höher als denjenigen bei der Schneidebedingung einzustellen und die geschmolzene Substanz mit hoher Geschwindigkeit auszublasen, oder den Laserstrahl 1 und das Hilfsgas in einer derartigen Richtung zu strahlen und auszuspritzen, in der die geschmolzene Substanz von der Werkstückoberfläche nicht direkt an der Düse anhaftet, wodurch verhindert wird, daß die geschmolzene Substanz an der Düse bei dem Rillenbildungsvorgang anhaftet.

Fig. 17 ist ein Erklärungsdiagramm, das eine Beziehung zwischen einer Rillentiefe [mm] und einem Anteil von Defekten [%] beim Schneiden von Weichstahlmaterialien mit unterschiedlichen Dicken (T = 12 mm, T = 19 mm und T = 25 mm) zeigt.

Je kleiner die Dicke ist, desto geringer ist der Anteil von Defekten. Je größer allerdings bei jeder Dicke des Materials die Rillentiefe t ist, desto geringer ist der Anteil von Defekten, da das Hilfsgas stabil wird. Jeder Arbeitsvorgang wurde durchgeführt, während die Düse einen Neigungswinkel von $\theta = 30$ bei dem Rillenbildungsvorgang aufwies. Eine Bearbeitungsbedingung bei dem Rillenbildungsvorgang war wie folgt unter einer Pulsbedingung eingestellt: Eine Ausgangsleistung von 1000 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 1,5 m/min und ein Gasdruck von 3 kg/cm², wenn die

Rillentiefe t 2 mm ist; eine Ausgangsleistung von 1500 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 1,2 m/min und ein Gasdruck von 3 kg/cm², wenn die Rillentiefe t 3 mm ist; eine Ausgangsleistung von 2000 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 1,0 m/min und ein Gasdruck von 3 kg/cm², wenn die Rillentiefe t 4 mm ist; eine Ausgangsleistung von 2200 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 1,0 m/min und ein Gasdruck von 3 kg/cm², wenn die Rillentiefe t 4 mm ist; und eine Ausgangsleistung von 2400 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 0,8 m/min und ein Gasdruck von 3 kg/cm², wenn die Rillentiefe t 5 mm ist.

Wie voranstehend erwähnt besitzt die sechste Ausführungsform die gleichen ersten und zweiten Schritte wie die erste Ausführungsform und neigt die Richtungen der Laserstrahlauflagestrahlung und der Hilfsgaseinspritzung relativ zu einer bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks 3a in einem vorläufigen Bearbeitungsschritt. Bei dem Hauptbearbeitungsschritt werden die Richtungen der Laserstrahlauflagestrahlung und der Hilfsgaseinspritzung relativ zu der bearbeiteten Oberfläche des Werkstücks 3a senkrecht eingestellt.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist die Qualität des geschnittenen Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Siebte Ausführungsform

Fig. 18 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Bearbeitungszustand bei einem Schneidevorgang unter Verwendung einer siebten Ausführungsform eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung der Erfindung zeigt, bei dem eine Schneideortskurve eines Werkstücks zur Neugestaltung einer Schneideoberflächenrauheit davon geschmolzen und das Werkstück danach geschnitten wird, beim Schneiden des Werkstücks mit der durch eine mechanische Bearbeitung oder dergleichen mit geringer Genauigkeit bearbeiteten Oberfläche. Ein Gesamtaufbau einer Laserstrahlmaschine in dieser Ausführungsform ist der gleiche wie bei der in der schematischen Ansicht aus Fig. 5 gezeigten ersten Ausführungsform und eine Beschreibung davon erübrigt sich.

Fig. 18 zeigt eine geschmolzene Oberfläche 3j vor einem Schneidevorgang. Bei der Bearbeitung der geschmolzenen Oberfläche 3j ist es erforderlich, eine Bedingung mit geringer Ausgangsleistung zu verwenden, um eine Brennpunktposition in eine defokussierte Position einzustellen oder als ein Hilfsgas ein solches Gas zu verwenden, das eine Oxidation beschränkt.

Fig. 19 ist ein Erklärungsdiagramm, das einen Zusammenhang einer Werkstückoberflächenrauheit R_{max} und einem Anteil von Defekten [%] beim Schneiden von Weichstahlmaterialien mit unterschiedlichen Dicken (T = 12 mm und T = 19 mm) zeigt.

Je kleiner die Plattendicke ist, desto geringer ist der Anteil von Defekten und bei jeder Plattendicke ist die Werkstückoberflächenrauheit R_{max} größer, je größer der Anteil von Defekten wird. Die Oberflächenrauheit im Fall eines vorhergehenden Schmelzens der Schneideortskurve zur Neugestaltung der Schneideoberflächenrauheit ist ungefähr 9 µm (R_{max}), wie mit W in Fig. 19 gezeigt. Der Anteil von Defekten ist ungefähr 5% in Hinsicht auf eine Dicke (T = 12 mm) und ungefähr 9% in Hinsicht auf die Dicke (T = 19 mm). Die Bedingung zur Herstellung einer gleichmäßigen Werkstückoberflächenrauheit R_{max} hängt von einer Größe der Oberflächenrauheit ab, aber gute Ergeb-

nisse wurden unter den folgenden Bedingungen erzielt.

Bei $R_{\max} < 50 \mu\text{m}$ war eine Ausgangsleistung 300 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit 2000 mm/min und ein Gasdruck 0,1 kg/cm². Bei $50 \mu\text{m} \leq R_{\max} \leq 150 \mu\text{m}$ war eine Ausgangsleistung 450 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit 2000 mm/min und ein Gasdruck 0,1 kg/cm². Bei $150 \mu\text{m} \leq R_{\max} \leq 300 \mu\text{m}$ war eine Ausgangsleistung 600 W, eine Bearbeitungsgeschwindigkeit 2000 mm/min und ein Gasdruck 0,1 kg/cm².

Wie voranstehend erwähnt, weist die vorliegende Ausführungsform die gleichen ersten und zweiten Schritte wie die erste Ausführungsform auf und verwendet ferner den ersten Schritt, um vorher die Oberflächenrauigkeit, die nicht gleichmäßig ist, durch Aufstrahlen des Laserstrahls entlang der Schneideortskurve gleichmäßig zu machen.

Mit dem Verfahren und der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist die Qualität des geschnittenen Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Während die vorliegende Ausführungsform auf einen Fall angewendet ist, bei dem eine Bearbeitung oder Vorbehandlung parallel zu einer longitudinalen Richtung der Werkstückoberflächenrauigkeit oder Unregelmäßigkeit durchgeführt wird, kann sie so ausgeführt werden, um das Werkstück in einer die konkaven oder konvexen Teile kreuzenden Richtung zu bearbeiten oder vorzubehandeln.

Achte Ausführungsform

Die Fig. 20(a) und 20(b) sind Erklärungsdiagramme, die jeweils einen Zusammenhang eines Laserstrahlmodos und eines Laserstrahlzustands gemäß einer achten Ausführungsform eines Laserstrahlbearbeitungsverfahrens und einer Einrichtung der Erfindung zeigt. Fig. 19(a) zeigt einen Monomode, dessen Strahlfokussierungsverhalten hervorragend und am meisten bevorzugt ist. Fig. 19(b) zeigt einen Laserstrahlmode, bei dem eine Energiedichte an einem laserstrahlbestrahlten Teil gleichmäßig ist.

Wenn der Laserstrahl 1 in den Zustand der in Fig. 20(a) gezeigten Energiedichte defokussiert wird, um ein Beschichtungsmaterial auf einem Werkstück zu entfernen, wird manchmal eine Oberflächenschmelzung an einem Mittelteil des Werkstücks verursacht, der einen Strahl mit hoher Dichte empfängt. Angesichts der voranstehenden Beschreibung behandelt die vorliegende Ausführungsform die Oberfläche des Werkstücks, um vorher die Oberflächensubstanz (Beschichtungsmaterial, Oxidfilm oder Rost) in dem Laserstrahlmodus aus Fig. 20(b) zu entfernen. Bei der Hauptbearbeitung oder dem Schneidevorgang wird der Mode aus dem Mode von Fig. 20(b) auf den Monomode aus Fig. 20(a) umgeschaltet.

Allgemein werden die Laserstrahlmoden entsprechend der Öffnungsradien in einem Laseroszillator geschaltet. Eine derartige Modenänderung kann automatisch durch eine Information von einer (nicht dargestellten) Steuereinrichtung durchgeführt werden, während Bearbeitungsbedingungen zwischen der anfänglichen Bearbeitung und der Hauptbearbeitung umgeschaltet werden.

Wie voranstehend erwähnt, weist die vorliegende Ausführungsform die gleichen ersten und zweiten Schritte wie die erste Ausführungsform auf und strahlt den Laserstrahl in dem ersten Schritt unter einer derartigen Bearbeitungsbedingung auf, um eine Energiedichte und eine Energieverteilung zu erhalten, die sich von

wenigstens einer der Bearbeitungsbedingungen für den Schneidevorgang, den Schweißvorgang und der thermischen Behandlung unterscheidet. In dem zweiten Schritt werden die Energiedichte und die Energieverteilung entsprechend wenigstens einer der Bearbeitungsbedingungen für den Schneidevorgang, den Schmelzvorgang und die thermische Behandlung verändert.

Mit dem Verfahren der Einrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist die Qualität des geschnittenen Werkstücks 3a sehr gut und zufriedenstellend.

Die hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen sind zur Erläuterung gedacht und nicht beschränkend, wobei der Umfang der Erfindung in den beigefügten Ansprüchen angezeigt ist und es ist beabsichtigt, daß alle Variationen, die in den Umfang der Ansprüche fallen, darin eingeschlossen sind.

Patentansprüche

1. Laserstrahlbearbeitungsverfahren, umfassend die folgenden Schritte:

einen vorläufigen Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6; 20c), zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und einen Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8; 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101); wobei der vorläufige Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6; 20b, 20c) eine Zusammenfassung und Fokussierung eines Laserstrahls (1) in eine hohe Energiedichte und ein Aufstrahlen (10, Mb, 2, 7, 8) eines führenden Endes eines Laserstrahls (1) fokussiert entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen (20b), um eine erste Energiedichte zu erhalten, um vorher ein Oberflächenmaterial (3b) des Werkstücks (3a, 3b) zu entfernen; und wobei der Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8; 20e) eine Aufstrahlung des Laserstrahls (1) auf einen Bereich (3d) des Werkstücks (3a, 3b), von dem das Oberflächenmaterial entfernt worden ist, unter Hauptbearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer zu der ersten Energiedichte unterschiedlichen zweiten Energiedichte umfaßt, um das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

2. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung (100), umfassend:

eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20b, 20c, 21) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und eine Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101); wobei die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20b, 20c, 21) Einrichtung zur Zusammenfassung und Fokussierung eines Laserstrahls (1) in eine hohe Energiedichte und eine Einrichtung (10, 1, Mb, 2, 7, 8) zum Aufstrahlen eines führenden Endes eines Laserstrahls (1) fokussiert entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen (20b), um so eine erste Energiedichte zu erhalten, um vorher ein Oberflächenmaterial (3d) des Werkstücks (3a, 3b) zu entfernen; und

wobei die Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e, 20) eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf ein Gebiet (3d) des Werkstücks (3a, 3b), von dem das Oberflächenmaterial (3b) entfernt worden ist, unter Hauptbearbeitungsbedingungen (20e) umfaßt, um eine zu der ersten Energiedichte

unterschiedliche zweite Energiedichte des Laserstrahls (1) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) zu erhalten.

3. Laserstrahlbearbeitungsverfahren, umfassend die folgenden Schritte:

einen vorläufigen Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und einen Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101);

wobei der vorläufige Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6) das Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen, um so eine erste Energiedichte zu erhalten, die zur Herstellung einer gleichmäßigen Oberflächenrauigkeit (Rmax) des Werkstücks (3a, 3b) dient; und

wobei der Hauptbearbeitungsschritt (S6, S7, S8) das Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf ein Gebiet (3d) des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, auf dem die Oberflächenrauigkeit (Rmax) gleichmäßig gemacht worden ist, und zwar unter Hauptbearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer zu der ersten Energiedichte unterschiedlichen zweiten Energiedichte des Laserstrahls (1), um das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

4. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung, umfassend: eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20a, 20b, 20c) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und eine Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve;

wobei die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20a, 20b, 20c) eine Einrichtung (10, 1, Mb, 2, 7, 8) zum Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer ersten Energiedichte, um eine Oberflächenrauigkeit (Rmax) des Werkstücks (3a, 3b) gleichmäßig zu machen; und

wobei die Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e) eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls auf ein Gebiet (3d) des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, auf dem die Oberflächenrauigkeit (Rmax) gleichmäßig gemacht worden ist, und zwar unter Hauptbearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer zu der ersten Energiedichte unterschiedlichen zweiten Energiedichte des Laserstrahls (1), um so das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

5. Laserstrahlbearbeitungsverfahren, umfassend die folgenden Schritte:

einen vorläufigen Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und einen Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101);

wobei der vorläufige Bearbeitungsschritt das Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen umfaßt, um eine erste Energiedichte zu erhalten, um das Werkstück (3a, 3b) mit einer Aussparung (3h, 3k, 3i) zu versehen; und

wobei der Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) das Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf das mit der Aussparung (3h, 3k, 3i) versehene Gebiet des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, und zwar unter Hauptbear-

beitungsbedingungen zur Erzielung einer zu der ersten Energiedichte unterschiedlichen zweiten Energiedichte des Laserstrahls (1), um so das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

6. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung, umfassend: eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20a, 20b, 20c) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und eine Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101);

wobei die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20a, 20b, 20c) eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer ersten Energiedichte, um das Werkstück (3a, 3b) mit einer Aussparung (3h, 3k, 3i) zu versehen; und wobei die Hauptbearbeitungseinrichtung (20d, 20e) eine Einrichtung zum Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf das mit der Aussparung (3h, 3k, 3i) versehene Gebiet des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, und zwar unter Hauptbearbeitungsbedingungen zur Erzielung einer zu der ersten Energiedichte unterschiedlichen zweiten Energiedichte des Laserstrahls (1), um das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

7. Laserstrahlbearbeitungsverfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß

der vorläufige Bearbeitungsschritt (S3, S4, S5) das Aufstrahlen eines Hilfsgases und das Neigen (O) einer Strahlungsrichtung des Laserstrahls (1) und einer Einspritzrichtung des Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt; und der Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) ferner eine Steuerung der Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls (1) und der Einspritzrichtung des Hilfsgases relativ zu der Oberfläche des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt.

8. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß:

die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20a, 20b, 20c, 21) ferner eine Einrichtung (4a, 4b, 6, 7, 8) zum Einspritzen eines Hilfsgases, eine Einrichtung zum Neigen (O) einer Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls (1) und einer Einspritzrichtung eines Hilfsgases relativ (O) zu der Oberfläche des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt; und

die Hauptbearbeitungseinrichtung (S7, S8) ferner eine Einrichtung (20) zum Steuern der Aufstrahlungsrichtung des Laserstrahls (1) und der Einspritzrichtung des Hilfsgases relativ (O) zu der Oberfläche des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt.

9. Laserstrahlbearbeitungsverfahren, umfassend die folgenden Schritte:

einen vorläufigen Bearbeitungsschritt (S3, S4, S5) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und einen Hauptbearbeitungsschritt (S6, S7, S8) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101);

wobei der vorläufige Bearbeitungsschritt (S3, S4, S5) ein Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen einschließlich eines Richtens eines ein Sauerstoffgas enthaltenden Hilfsgases auf die erste Ortskurve (101), um so die Oberfläche (3a) des Werkstücks (3a, 3b) zu oxidieren; und

wobei der Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) ein

Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf einen oxidierten Bereich (3d) des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, und zwar unter Hauptbearbeitungsbedingungen, die sich von den vorläufigen Bearbeitungsbedingungen unterscheiden, um so das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

10. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung, umfassend:
eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20; 20a, 20b, 20c) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und eine Hauptbearbeitungseinrichtung (20; 20d, 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101); wobei die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20; 20a, 20b) eine Einrichtung (10, 1, Mb, 2, 7, 8) zur Aufstrahlung eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen einschließlich des Richtens eines ein Sauerstoffgas enthaltenden Hilfsgases auf die letzte Ortskurve (101), um so die Oberfläche (3d) des Werkstücks (3a, 3b) zu oxidieren; und wobei die Hauptbearbeitungseinrichtung (20, 20a, 20b, 20c) eine Einrichtung (10, 1, Mb, 2, 7, 8) zum Strahlen des Laserstrahls (1) auf ein oxidiertes Oberflächengebiet des Werkstücks (3a, 3b) umfaßt, und zwar unter Hauptbearbeitungsbedingungen, die sich von den vorläufigen Bearbeitungsbedingungen unterscheiden, um so das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

11. Laserstrahlbearbeitungsverfahren, umfassend einen vorläufigen Bearbeitungsschritt (S3, S4, S5) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und einen Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101); wobei der vorläufige Bearbeitungsschritt (S4, S5, S6) die Schritte eines Aufstrahlens eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen, um so gleichmäßig eine Energiedichte und eine Energieverteilung unterschiedlich von einer Energiedichte und einer Energieverteilung in wenigstens einer der Hauptbearbeitungsbedingungen zum Schneiden und Schweißen und einer thermischen Behandlung in dem Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) zu erhalten, um so vorher ein Oberflächenmaterial (3b) des Werkstücks (3a, 3b) zu entfernen; und wobei der Hauptbearbeitungsschritt (S7, S8) einen Schritt zum Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf ein Gebiet (3d) des Werkstücks, von dem die Oberflächensubstanz entfernt worden ist, umfaßt, während die Energiedichte und die Energieverteilung des Laserstrahls (1) entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

12. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung, umfassend eine vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20; 20a, 20b, 20c) zur Vorbehandlung eines Werkstücks (3a, 3b) und eine Hauptbearbeitungseinrichtung (20; 20d, 20e) zur Bearbeitung des Werkstücks (3a, 3b) entlang einer letzten Bearbeitungsortskurve (101); wobei die vorläufige Bearbeitungseinrichtung (20; 20d, 20e) eine Einrichtung zum Aufstrahlen eines Laserstrahls (1) entlang der letzten Bearbeitungsortskurve (101) umfaßt, und zwar unter vorläufigen Bearbeitungsbedingungen, um gleichmäßig eine

Energiedichte und eine Energieverteilung unterschiedlich von einer Energiedichte und einer Energieverteilung in wenigstens einer der Hauptbearbeitungsbedingungen zum Schneiden und Schweißen und für eine thermische Behandlung des Hauptbearbeitungsschritts (S7, S8) zu erhalten, um so vorher eine Oberflächensubstanz (3a) des Werkstücks (3a, 3b) zu entfernen; und

wobei die Hauptbearbeitungseinrichtung (20; 20d, 20e) eine Einrichtung (10, 1, Mb, 2, 7, 8) zum Aufstrahlen des Laserstrahls (1) auf ein Gebiet des Werkstücks (3a, 3b), von dem die Oberflächensubstanz entfernt worden ist, umfaßt, während die Energiedichte und die Energieverteilung des Laserstrahls entsprechend der Hauptbearbeitungsbedingung verändert wird, um das Werkstück (3a, 3b) zu bearbeiten.

13. Laserstrahlbearbeitungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Energiedichte kleiner als die zweite Energiedichte ist.

14. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Energiedichte kleiner als die zweite Energiedichte ist.

15. Laserstrahlverfahren nach Anspruch 7, ferner umfassend die Verwendung eines Hilfsgases zur Verhinderung einer Verunreinigung einer Düse (8).

16. Laserstrahleinrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzungseinrichtung (4a, 4b, 6, 7, 8) ferner eine erste Düse (8) und eine von der ersten Düse (8) getrennte zweite Düse umfaßt, um das Gas auf die erste Düse (8) zu spritzen.

17. Laserstrahlbearbeitungsverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die vorläufigen Bearbeitungsbedingungen und die Hauptbearbeitungsbedingungen jeweils unterschiedliche Energiedichte zur Folge haben.

18. Laserstrahlbearbeitungseinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die vorläufigen Bearbeitungsbedingungen jeweils unterschiedliche Energiedichten zur Folge haben.

Hierzu 23 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

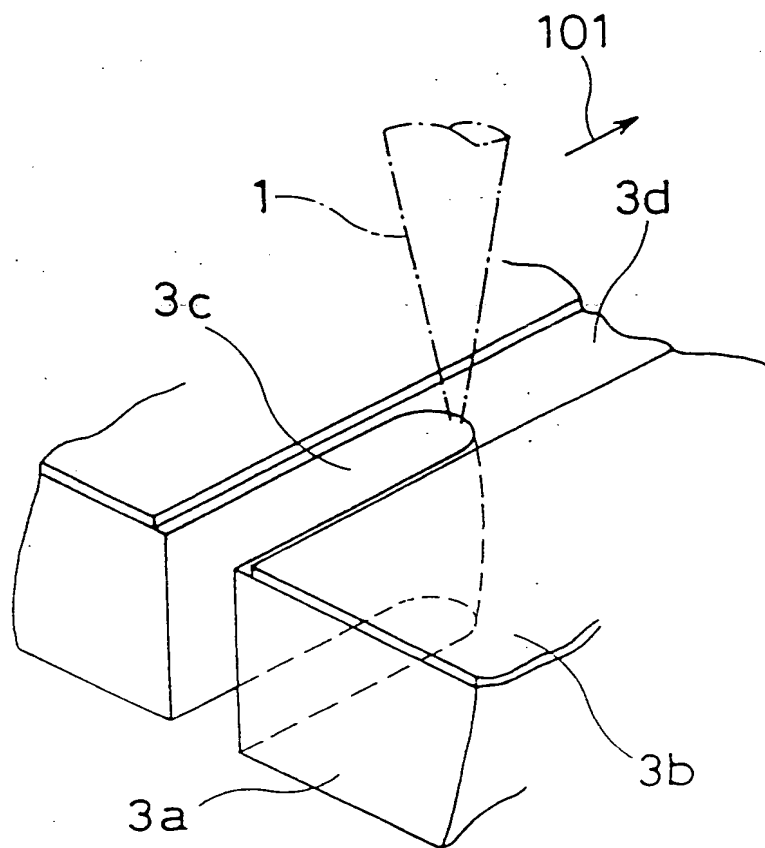


FIG.2

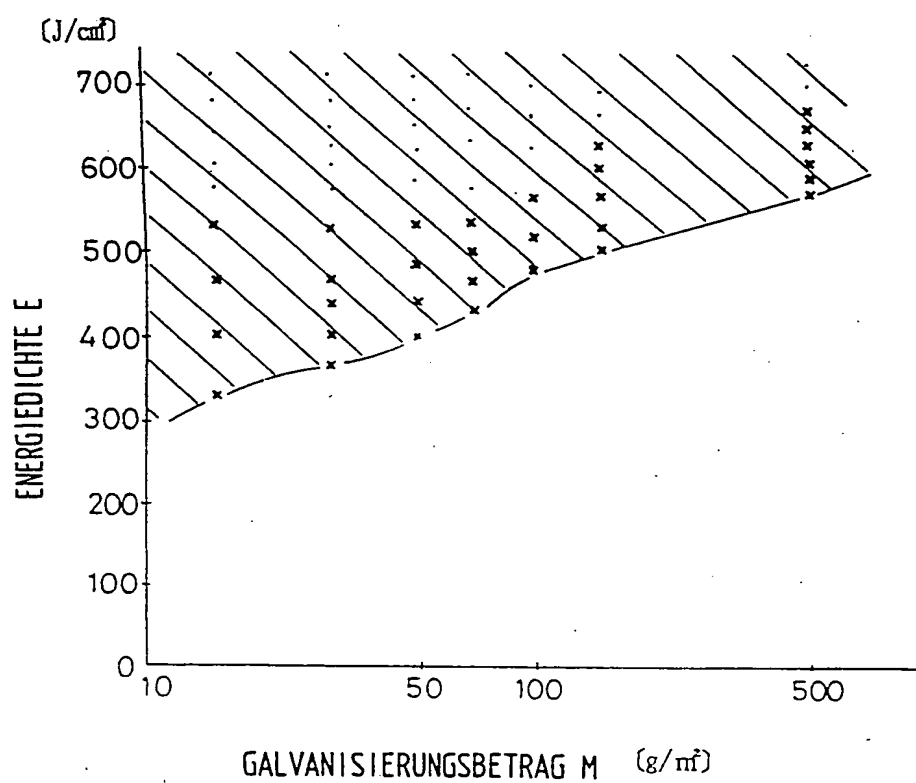


FIG.3

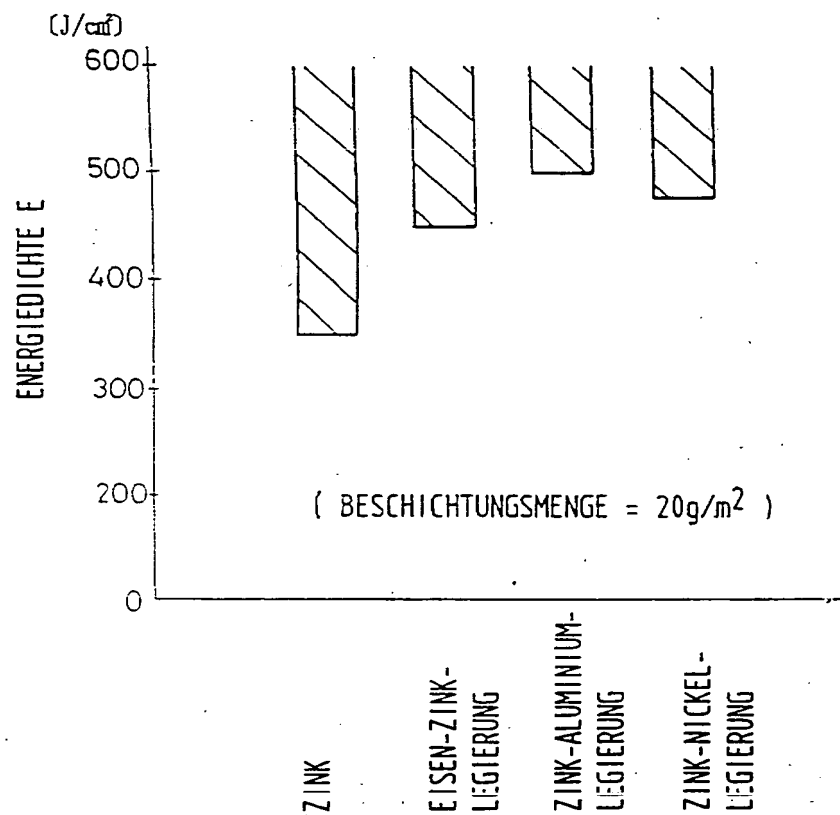


FIG.4

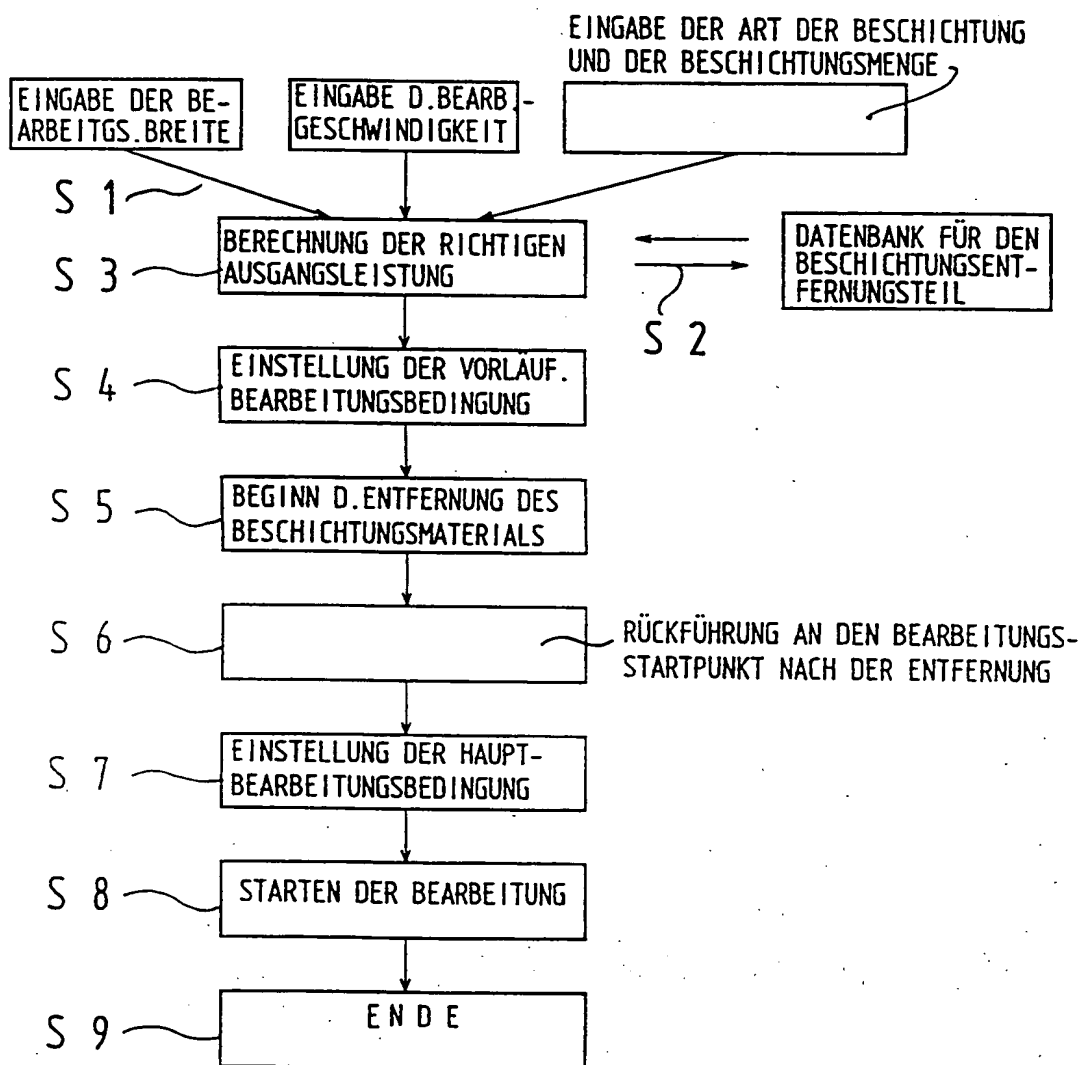


FIG. 5

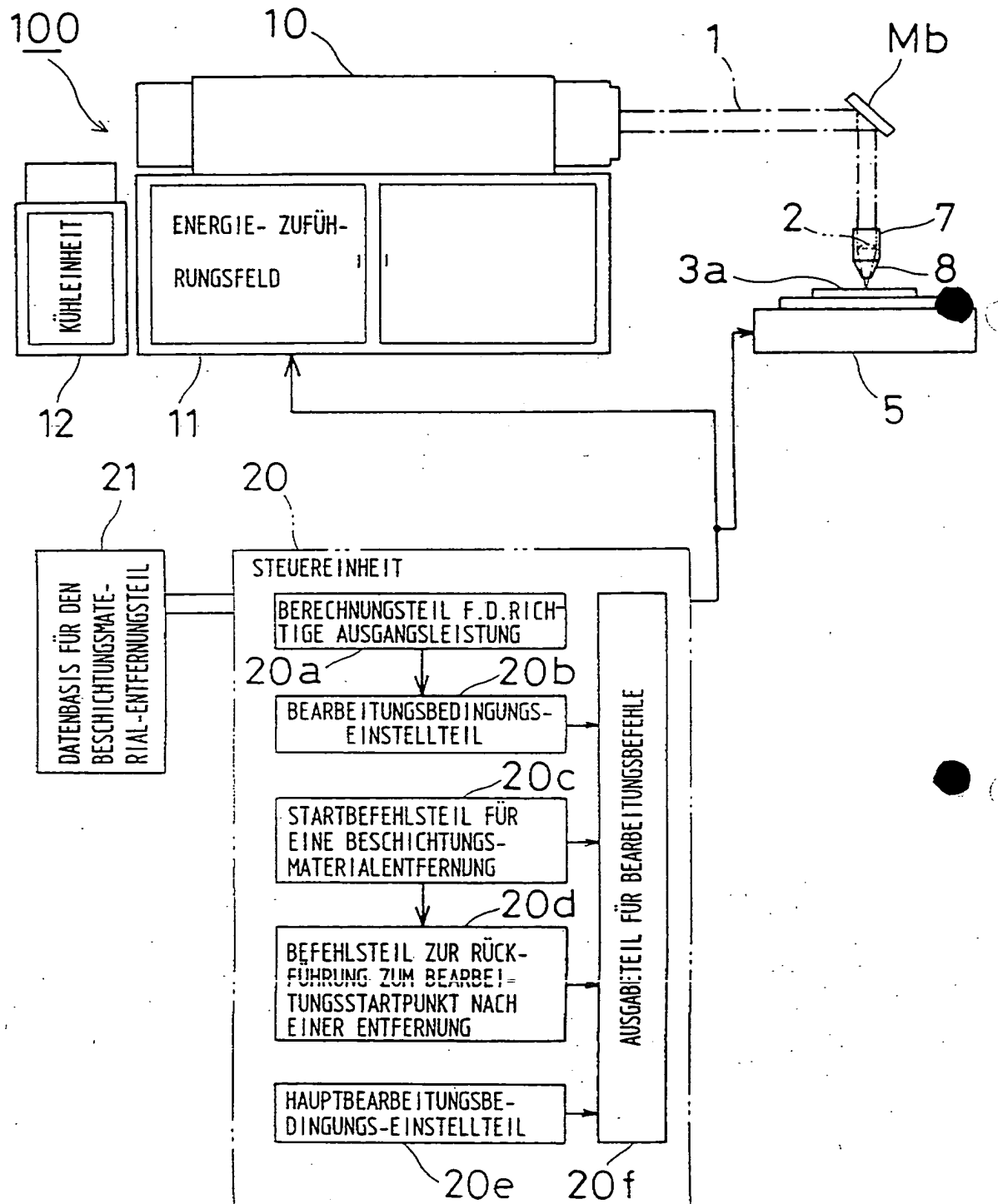


FIG.6

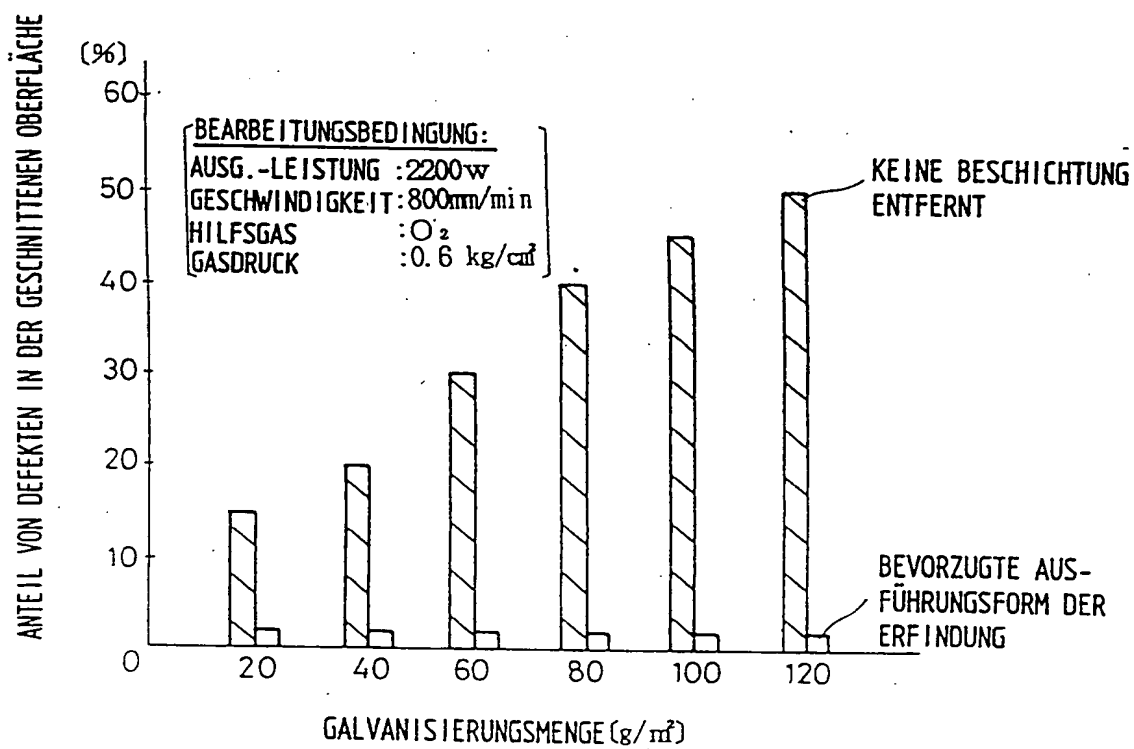


FIG.7

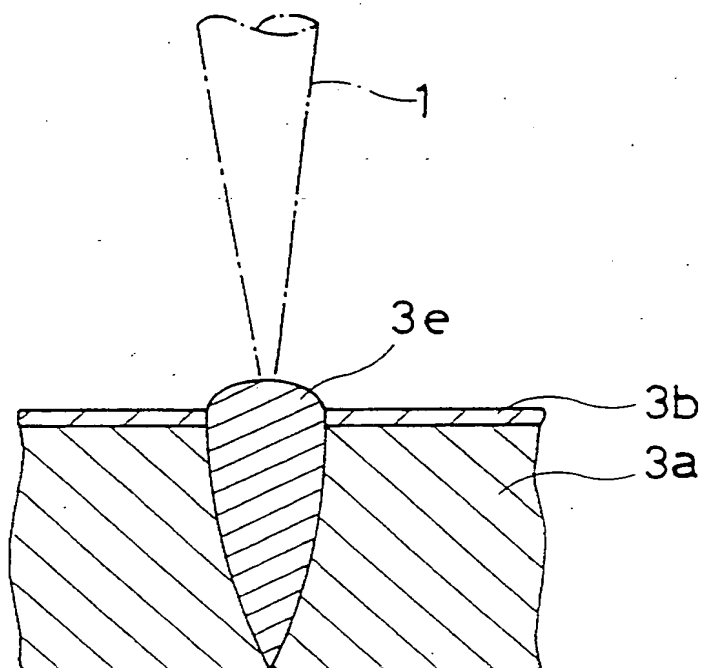


FIG. 8

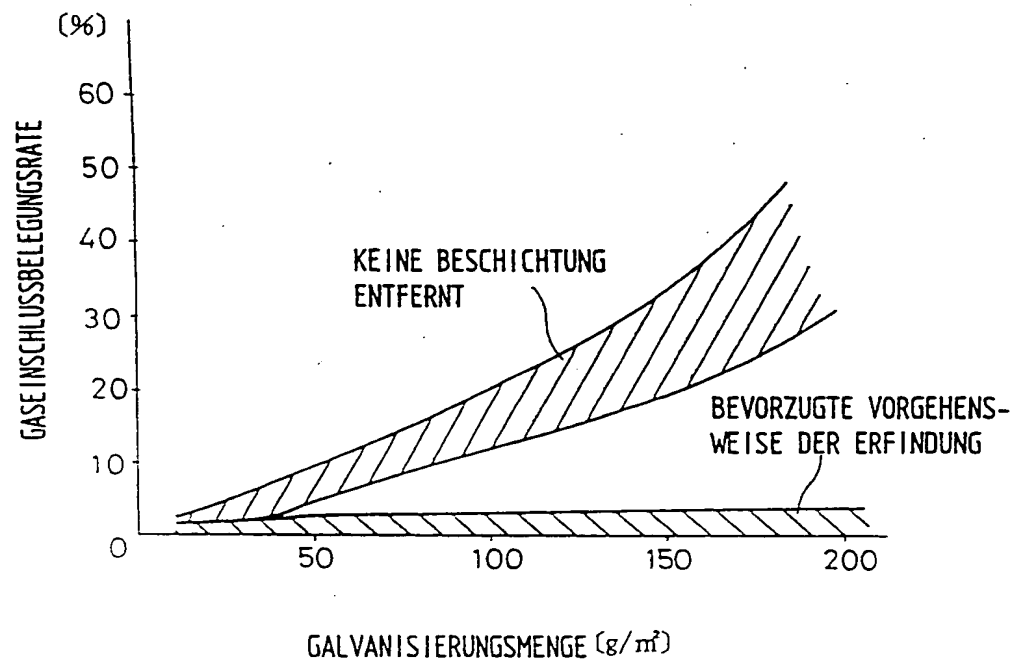


FIG.9

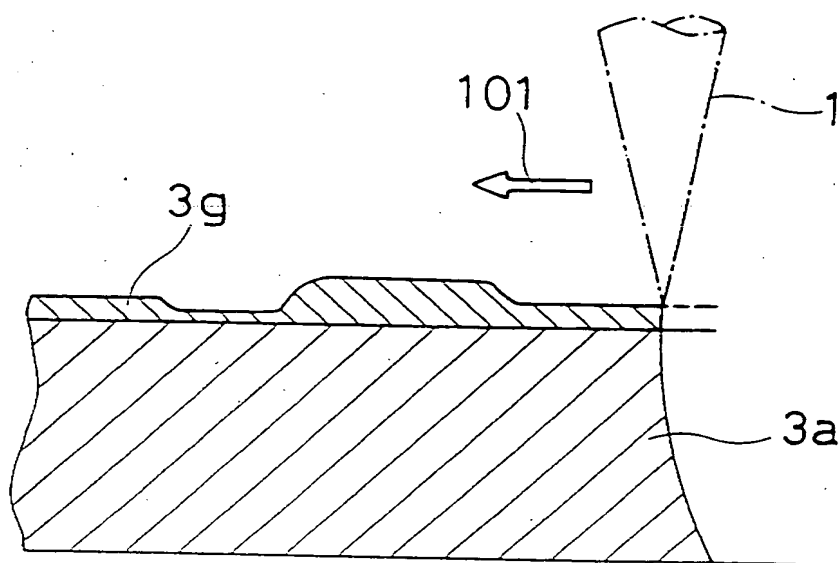


FIG.10

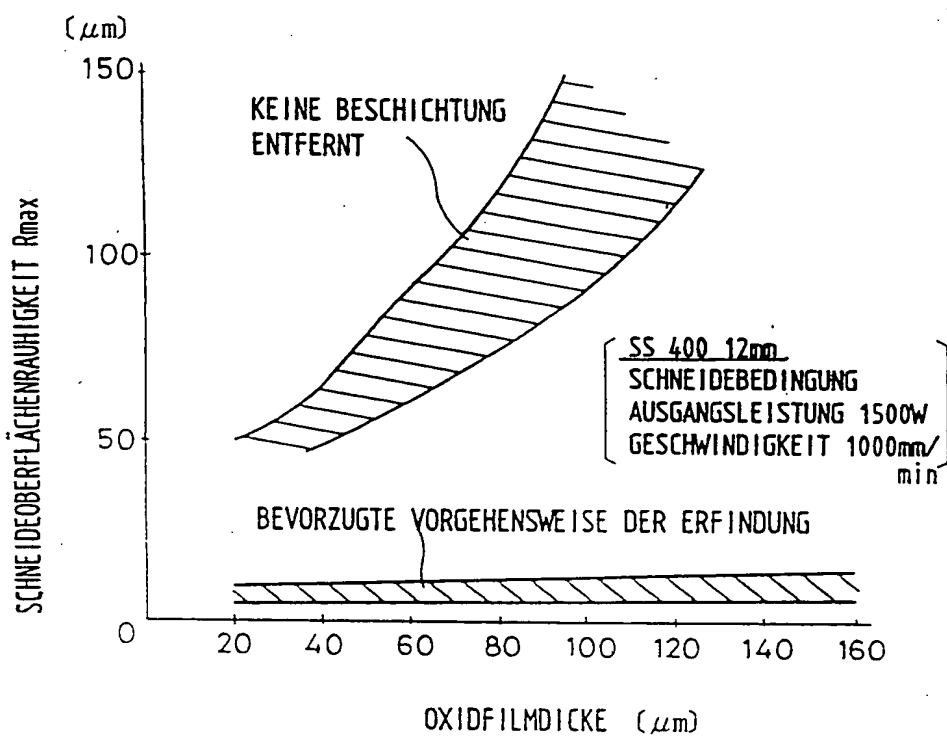


FIG.11 a

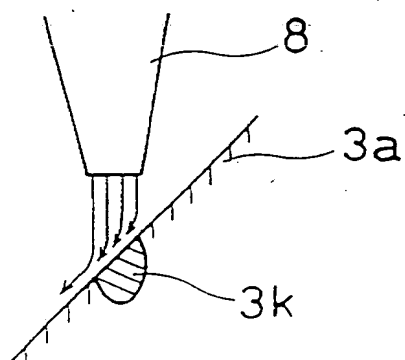


FIG.11 b

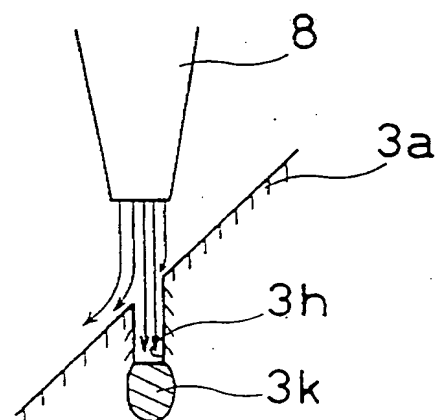


FIG.12

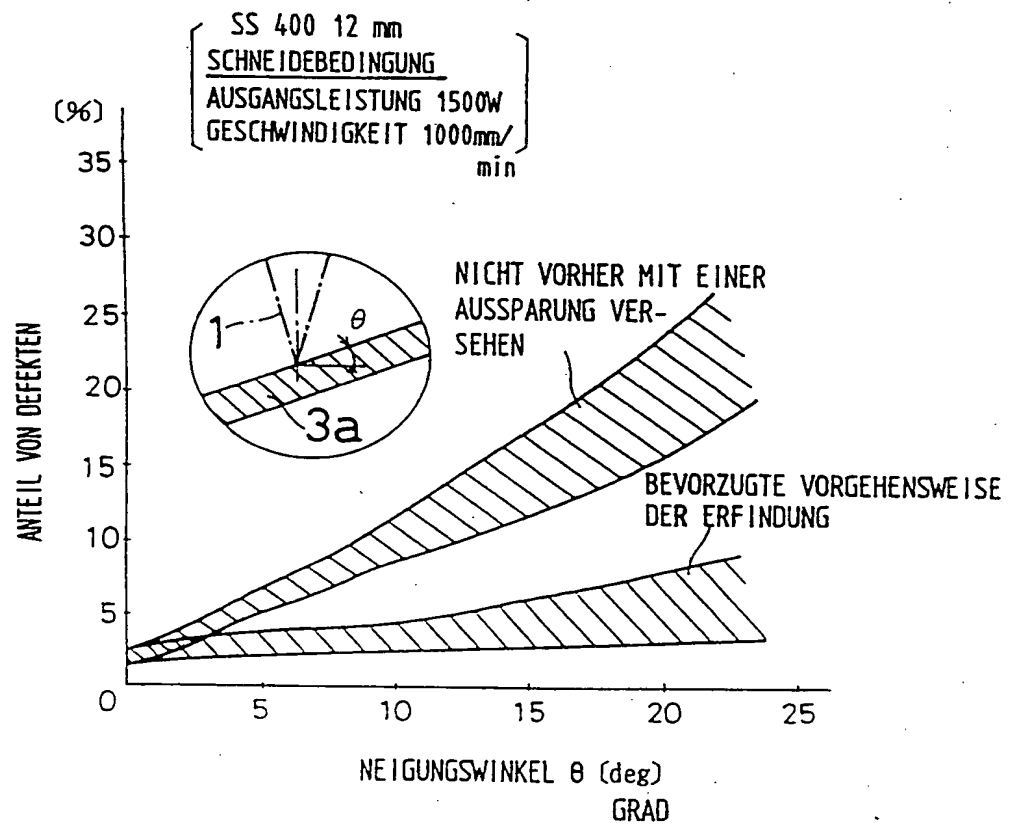


FIG.13

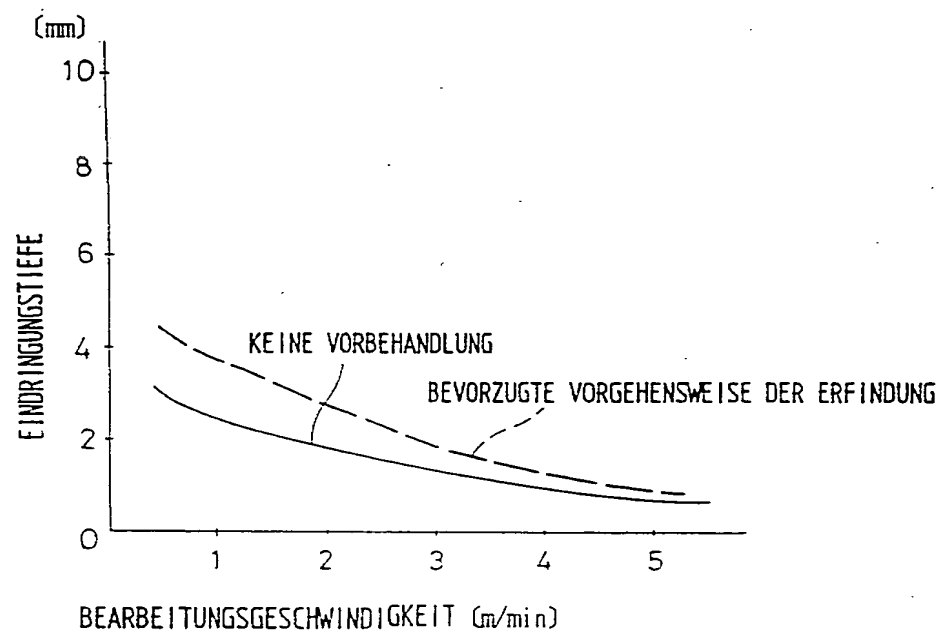


FIG.14

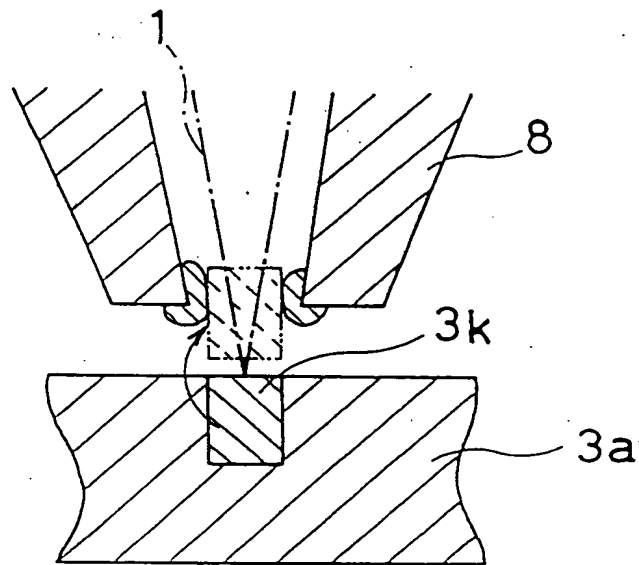


FIG.15

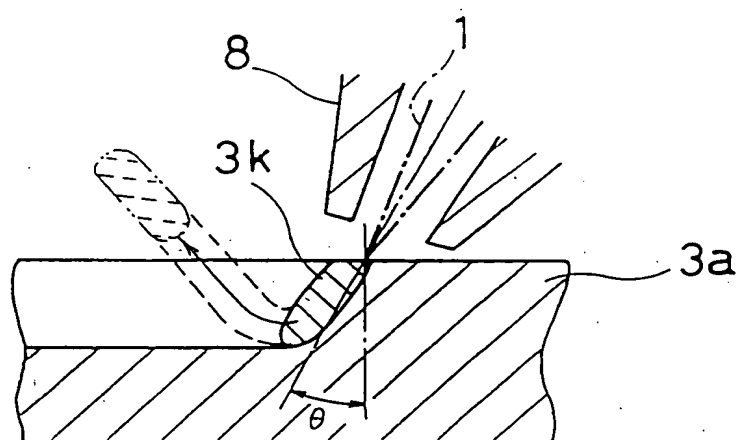


FIG.16

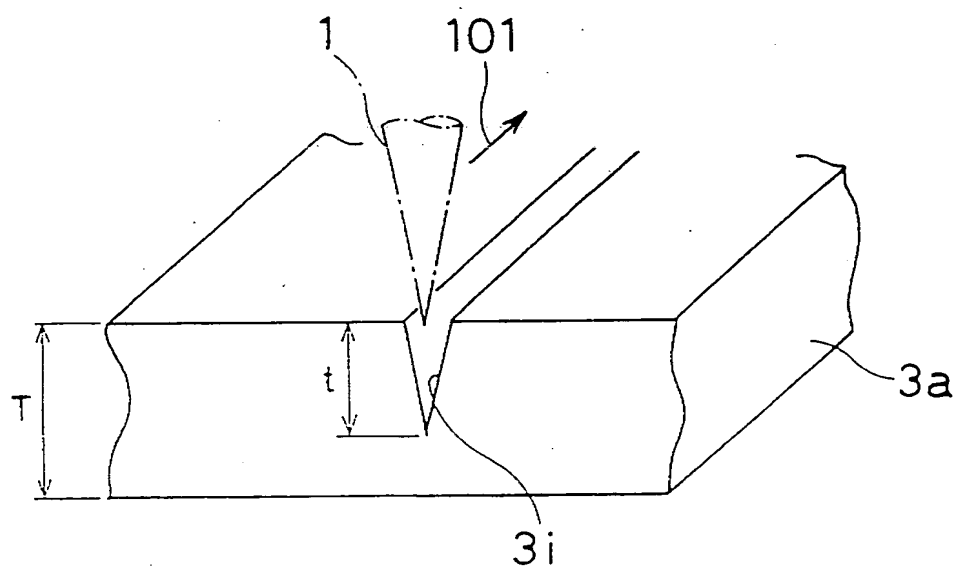


FIG.17

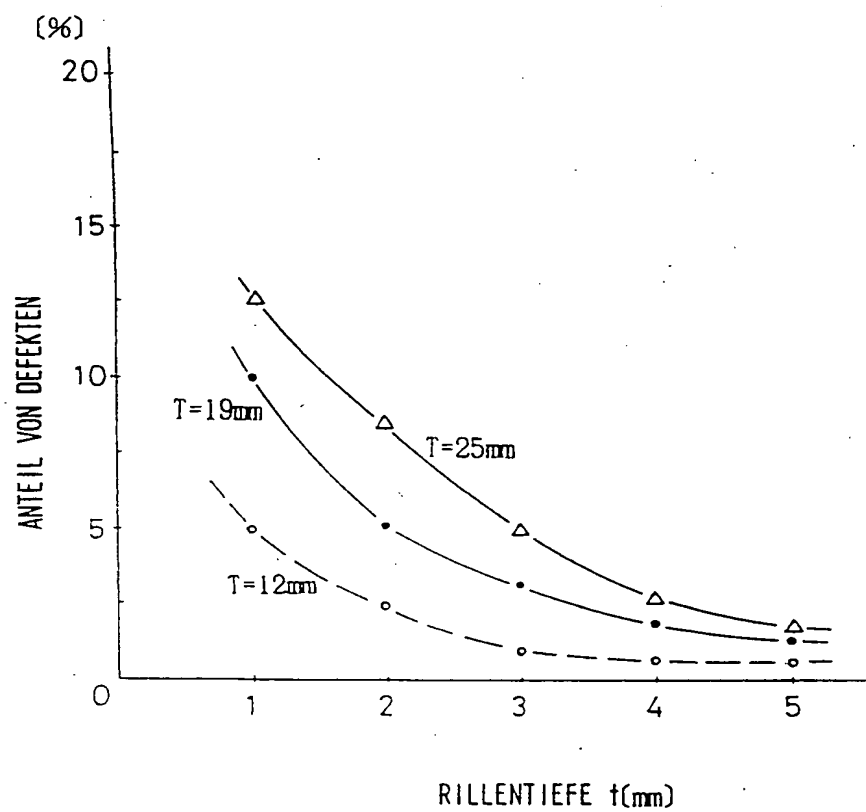


FIG.18

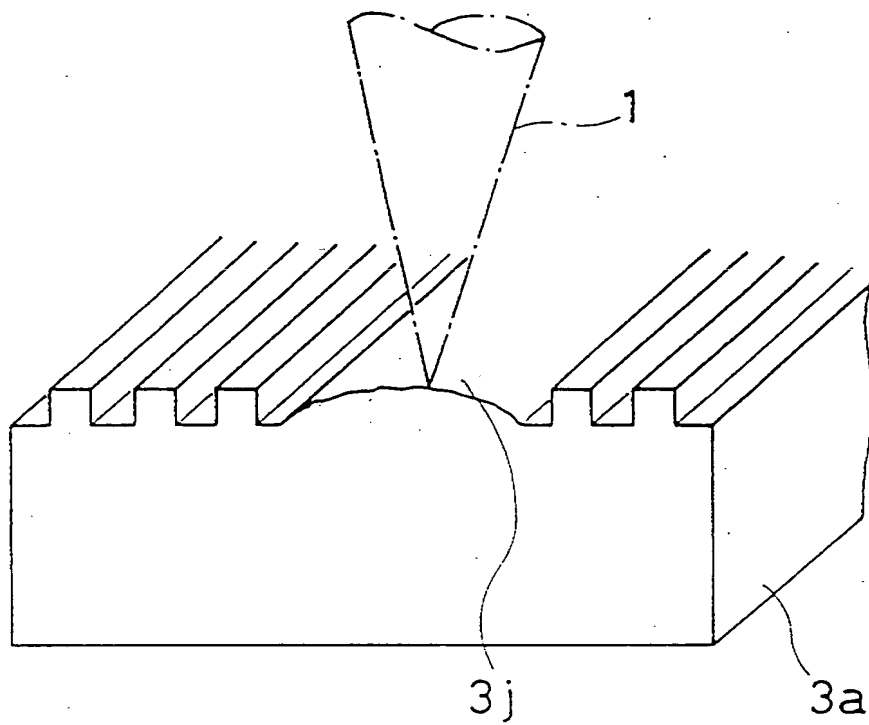


FIG.19

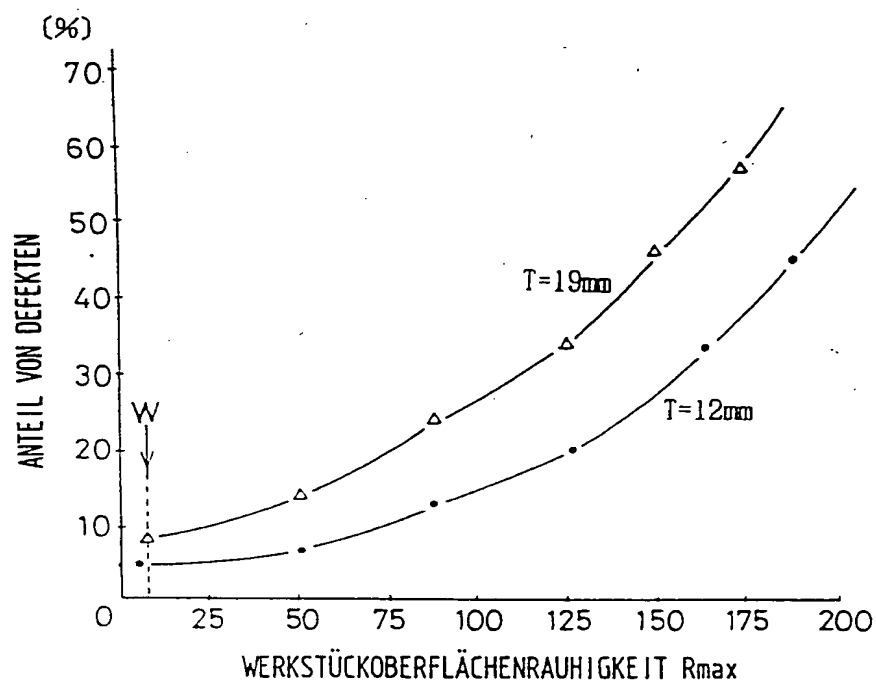


FIG.20a

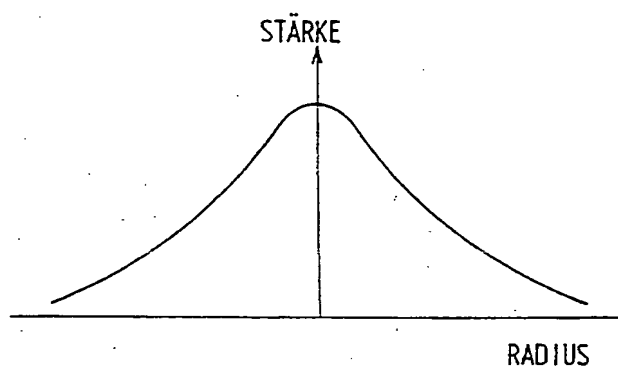


FIG.20b

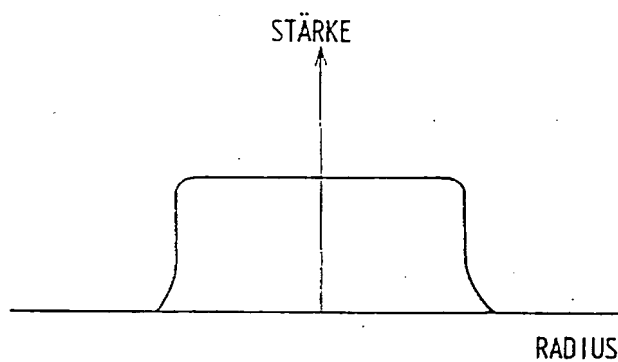


FIG. 21

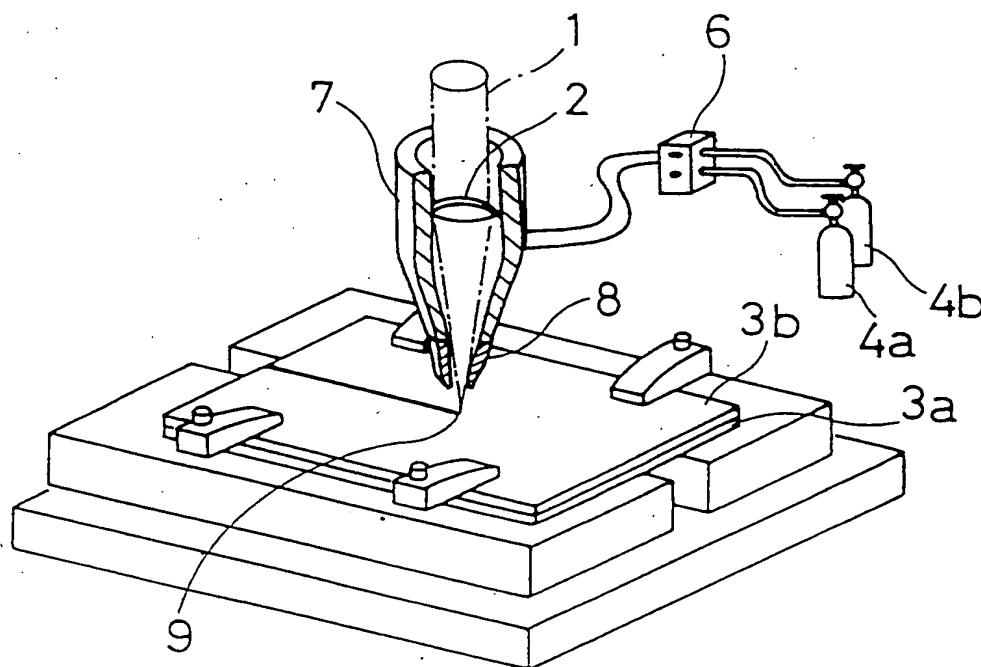


FIG.22

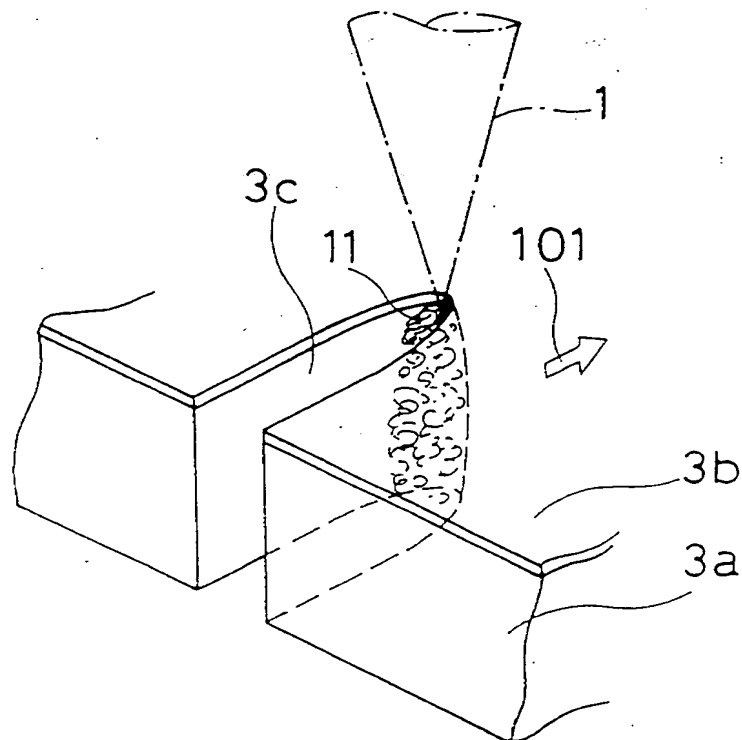


FIG.23

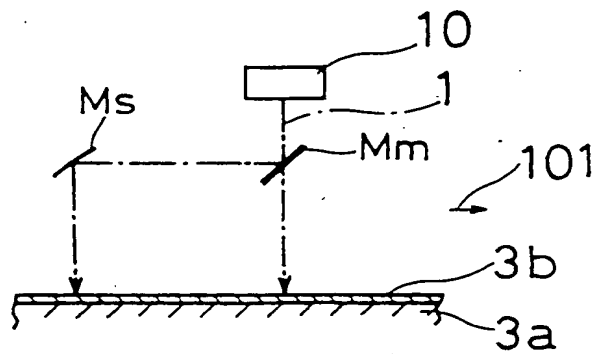


FIG.24

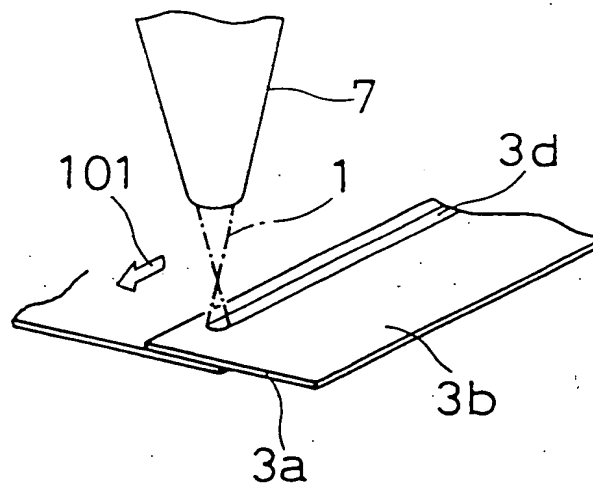


FIG. 25

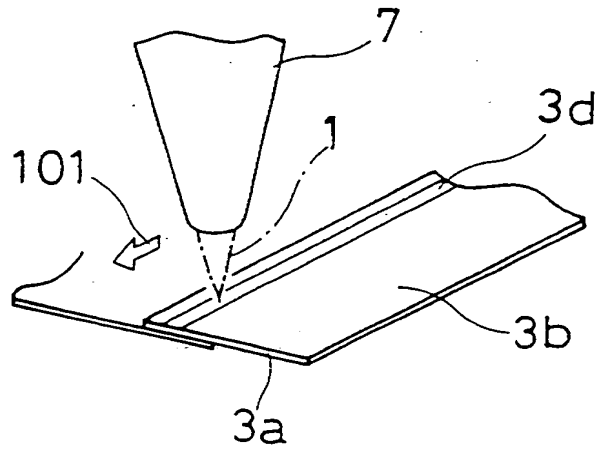


FIG. 26

